

# Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Hydrology and Water Resources Management



Weiterentwicklung von FLEMOps zur Modellierung von Grundhochwasserschäden an Wohngebäuden

Räumlich differenzierte Modellierung der Phosphorbelastung in den hessischen Oberflächengewässern

## Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Die Zeitschrift Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (HyWa) ist eine deutschsprachige Fachzeitschrift, die Themen der Hydrologie und Wasserwirtschaft umfassend behandelt. Sie bietet eine Plattform zur Veröffentlichung aktueller Entwicklungen aus Wissenschaft und operationeller Anwendung. Das Spektrum der Fachbeiträge setzt sich aus folgenden Themenbereichen zusammen, die unter qualitativen, quantitativen, sozioökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten behandelt werden:

- Hydrologie
- Bewirtschaftung der Wasservorkommen
- Wasser- und Stoffflüsse, Gewässerschutz
- Binnen- und Küstengewässer
- Grundwasser

Zur Veröffentlichung werden nur fachlich fundierte, originäre Artikel zu aktuellen Themen zugelassen. Ein Redaktionsausschuss sowie assoziierte Editoren, bestehend aus Hochschulvertretern, Vertretern des Bundes und der Länder, gewährleisten, dass nur qualitativ hochwertige Fachbeiträge veröffentlicht werden (peer review). Die HyWa enthält außerdem einen nachrichtlichen Teil, der dem Austausch von Informationen aus Bund, Ländern und internationalen staatlichen und nicht-staatlichen Organisationen dient.

### Editoren

#### Redaktionsausschuss:

Dr. Johannes Cullmann,  
IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz

Prof. Dr.-Ing. Markus Disse,  
Universität der Bundeswehr, Neubiberg

Frau Prof. Dr. Nicola Fohrer,  
Universität Kiel

Prof. Dr. Uwe Grünewald,  
Technische Universität Cottbus

MR Helmut Teltscher,  
Thüringer Landesanstalt für Umwelt und  
Geologie, Jena

#### Redaktion:

Gerhard Strigel, Leitung, v.i.S.d.P. • strigel@bafg.de  
Hilde Hücking • huecking@bafg.de • Telefon: 0261/1306-5354

Übersetzungen: Bernd Uebelmann • uebelmann@bafg.de

#### Anschrift:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)  
Am Mainzer Tor 1 • 56068 Koblenz • www.hywa-online.de

#### Verlagsrechte:

Die eingereichten Aufsätze und Kurzberichte müssen Originalarbeiten sein. Sie dürfen in der vorgelegten oder in ähnlicher Form weder an anderer Stelle eingereicht noch veröffentlicht sein. Ausnahmen in besonders gelagerten Fällen, z.B. Vorveröffentlichung in anderer Sprache, bedürfen vorheriger Absprache mit der Redaktionsleitung. Mit der Annahme des Manuskripts geht das Recht der Veröffentlichung einschließlich sonstiger Vervielfältigung auf den Herausgeber über.

#### Erscheinungsweise:

zweimonatlich im Abo, 34,- €/Jahr,  
kündbar jeweils drei Monate vor Jahresende

#### Herausgeber:

BfG für Fachverwaltungen des Bundes und der Länder

#### Satz und Druck:

Druckpartner Moser, Rheinbach  
ISSN 1439-1783

The journal Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (HyWa) (Hydrology and water resources management) is a German-language periodical which comprehensively reports on hydrological topics. It serves as a platform for the publication of the latest developments in science and operational application. The range of contributions relates to the following subjects that are treated from qualitative, quantitative and ecological aspects:

- hydrology
- water resources management
- water and material fluxes, water protection
- inland and coastal waters
- groundwater.

Only scientifically substantiated articles on current topics are selected for publication. An editing committee comprising representatives from universities, and from the Federal Republic and the Federal States guarantees that only high-quality contributions are published (peer review).

The HyWa also includes a news section for the exchange of information from the Federal Republic, the Federal States, and international governmental and non-governmental organisations.

### Assoziierte Editoren

Prof. Dr. Günter Blöschl,  
Technische Universität Wien

Dr. Gerhard Brahmmer,  
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden

Prof. Dr. Axel Bronstert  
Universität Potsdam

Prof. Dr. Bernd Cyffka,  
Universität Eichstätt-Ingolstadt, Eichstätt

Prof. Dr. Siegfried Demuth,  
UNESCO Division of Water Science, Paris

Prof. Dr. -Ing. Uwe Haberlandt,  
Universität Hannover

Dr. Fritz Kohmann,  
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Prof. Dr. Wolfram Mauser,  
Universität München

Prof. Dr. Lucas Menzel,  
Universität Heidelberg

Prof. Dr. Bruno Merz,  
Deutsches GeoForschungszentrum, Potsdam

Frau Prof. Dr. Elisabeth I. Meyer,  
Universität Münster

Frau Dr. Heike Puhlmann,  
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Freiburg

Prof. Dr. Andreas Schumann,  
Universität Bochum

Prof. Dr. Clemens Simmer,  
Universität Bonn

Prof. Dr. Manfred Spreafico,  
Universität Bern

Prof. Dr. Benedikt Toussaint,  
Taunusstein

Prof. Dr. Stefan Uhlenbrook,  
UNESCO-IHE Institute for Water Education und  
Delft University of Technology, Delft

Prof. Dr. Markus Weiler,  
Universität Freiburg

Prof. Dr. Rolf Weingartner,  
Universität Bern

# Inhalt | Contents

## Fachartikel | Scientific reports

**Heidi Kreibich, Sebastian Meyer und Bernd Diekkrüger**

Weiterentwicklung von FLEMOps zur Modellierung von Grundhochwasserschäden an Wohngebäuden  
Further development of FLEMOps for the modelling of damage to residential buildings due to high groundwater levels **300**

**Björn Tetzlaff und Frank Wendland**

Räumlich differenzierte Modellierung der Phosphorbelastung in den hessischen Oberflächengewässern  
für Zwecke der Maßnahmenplanung nach EG-WRRL  
Spatially distributed modelling of phosphorus loads in Hessian surface waters for planning  
purposes pursuant to the EC WFD **310**

## Hydrologische Notizen | Hydrological notes

UN Wasserforum | UN Water forum **325**

Tagungsberichte | Reports on scientific events **328**

Projektbericht | Project report **339**

Aktuelles | Latest news **343**

## Nachrichten | News

Neue Publikationen | New publications **348**

Termine | Events **351**

Die Fachzeitschrift Hydrologie und Wasserbewirtschaftung ist gelistet im:  
Science Citation Index Expanded (SCIE), Journal Citation Reports/Science Edition und Scopus

Heidi Kreibich, Sebastian Meyer und Bernd Diekkrüger

# Weiterentwicklung von FLEMOps zur Modellierung von Grundhochwasserschäden an Wohngebäuden

**Further development of FLEMOps for the modelling of damage to residential buildings due to high groundwater levels**

Während und nach dem Hochwasser 2002 in Dresden traten erhebliche Schäden durch Grundhochwasser auf. Bisher werden solche Schäden im Rahmen von Hochwasserrisikoanalysen kaum gesondert berücksichtigt. Jedoch sind verlässliche Schadensmodelle erforderlich, um die Kosteneffizienz von entsprechenden Minderungsmaßnahmen zu evaluieren und ein umfassendes Risikomanagement zu unterstützen. Deshalb wurde das Hochwasserschadensmodell FLEMOps (Flood Loss Estimation Model for the private sector) für die Modellierung von Grundhochwasserschäden weiterentwickelt. FLEMOps basiert auf empirischen Hochwasserschadensdaten und nutzt neben der Wassertiefe weitere schadensbeeinflussende Faktoren wie Gebäudetyp, Vorsorge und Kontamination. In Dresden wurde FLEMOps für Grundhochwasser auf der Mikro- und Mesoskala erfolgreich validiert und eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

**Schlagwörter:** Grundhochwasser, Modellierung von Grundhochwasserschäden, Schadensfunktionen, Validierung

Severe damage due to high groundwater levels occurred during and after the 2002 flood in the city of Dresden, Germany. So far, damage caused by high groundwater levels has rarely been considered in flood risk analysis. However, reliable damage models are necessary to evaluate the cost-effectiveness of mitigation measures and to support a comprehensive risk management. Therefore, the "Flood Loss Estimation Model for the private sector" FLEMOps was further developed for modelling damage due to high groundwater levels. FLEMOps is empirically based and considers several damage influencing factors. In addition to the water depth, information on the building type as well as the level of precaution and contamination are also taken into account. FLEMOps for groundwater flooding has been successfully validated at the micro- and meso-scale and a sensitivity analysis has been implemented in Dresden.

**Keywords:** Damage curves, groundwater flood, modelling of damage due to high groundwater levels, validation

## 1 Einführung

In verschiedenen Städten weltweit traten Probleme mit hohen Grundwasserständen auf (z.B. HARDT & HUTCHINSON 1978) und auch in Dresden verursachte das Grundhochwasser 2002 erhebliche Schäden (LANDESHAUPTSTADT DRESDEN 2005). Allerdings gibt es derzeit nur wenige Studien zu Grundhochwasserschäden und kaum spezifische Modelle zur Abschätzung dieser Schäden im Rahmen von Hochwasserrisikoanalysen. Verfügbare Schadensmodelle für Flusshochwasser neigen dazu, die Schäden durch Grundhochwasser deutlich zu überschätzen, sodass sie für die Grundhochwasserschadensschätzung ungeeignet sind (KREIBICH & THIEKEN 2008).

Zur nachhaltigen Minderung von Hochwasserschäden sind jedoch umfassende Risikoanalysen, die alle relevanten Hochwassertypen berücksichtigen, erforderlich. Wenn die Schadensereignisse und ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten mit möglichst großer Zuverlässigkeit bekannt sind, lassen sich abgesicherte Empfehlungen für die verschiedenen Segmente der Hochwasservorsorge, wie beispielsweise Raumplanung, Risikovorsorge oder Nutzungs- und Bauvorschriften, ableiten (AL-SEFRY & SEN 2006, HAGERTY & LIPPERT 1982, HAMDAN & MUKHOPADHYAY 1991). Deshalb hat die Stadt Dresden das RIMAX-Projekt MULTISURE (Entwicklung multisequenzieller Vorsorgestrategien für grundhochwassergefährdete urbane Lebensräume) initiiert, in dessen Rahmen Modelle zur Prognose von Risiken infolge schnell steigenden Grundwassers in urbanen Gebieten am Beispiel von Dresden entwickelt wurden.

Unter anderem sollte ein empirisches Schadensmodell, das auch auf der Mesoskala anwendbar ist, entwickelt werden. Empiri-

sches Modell bedeutet, dass das Modell auf Basis tatsächlich eingetretener Schadensfälle bzw. der entsprechenden Schadensdaten abgeleitet wird. Auf der Mesoskala heißt, dass die Abschätzung von Schäden nicht pro Gebäude (Mikroskala), sondern für Landnutzungseinheiten erfolgt, denen flächenspezifische Vermögenswerte zugewiesen werden (DGFZ 2011). Da die empirischen Schadensdaten für einzelne Gebäude vorliegen, impliziert dieses Vorgehen, dass das Modell zunächst für die Mikroskala, d.h. für die Gebäudeebene, abgeleitet wird und danach auf die Mesoskala hochskaliert wird.

Das Ziel der hier präsentierten Arbeiten ist die Weiterentwicklung des Hochwasserschadensmodells FLEMOps (Flood Loss Estimation Model for the private sector; THIEKEN et al. 2006, THIEKEN et al. 2008) zur Abschätzung von Grundhochwasserschäden an Wohngebäuden. Im Gegensatz zu den meisten Schadensmodellen (HYDROTEC 2001, IKS 2001, MURL 2000) berücksichtigt FLEMOps (in der ersten Stufe) neben der Wassertiefe auch verschiedene Gebäudetypen sowie die Gebäudequalität. In einer optionalen zweiten Modellstufe können zudem Vorsorge und Kontamination berücksichtigt werden (THIEKEN et al. 2006, THIEKEN et al. 2008). Im Folgenden wird die erste Stufe des bestehenden Modells für Flusshochwasserschäden als FLEMOps FHW, die zweite Stufe als FLEMOps+ FHW bezeichnet. Das weiterentwickelte Modell für Grundhochwasserschäden wird entsprechend als FLEMOps GHW und FLEMOps+ GHW benannt.

## 2 Das bestehende Schadensmodell für Flusshochwasser: FLEMOps+ FHW

Das Modell FLEMOps+ FHW kann sowohl auf der Mikroskala, d.h. auf Basis einzelner Wohngebäude, als auch auf der Mesoskala,

d.h. auf Basis von Landnutzungseinheiten, angewendet werden (THIEKEN et al. 2006, THIEKEN et al. 2008). Validierungen auf der Mikro- und Mesoskala zeigten gute Ergebnisse (THIEKEN et al. 2008).

In der ersten Modellstufe berücksichtigt FLEMOps FHW die Wassertiefe eingeteilt in fünf Klassen (bis 20 cm, 21–60 cm, 61–100 cm, 101–150 cm, über 150 cm), drei verschiedene Gebäudetypen (Einfamilienhaus, Reihen-/Doppelhaus, Mehrfamilienhaus) und die Gebäudequalität in zwei Klassen (mittel, sehr gut) (Abb. 1; BÜCHELE et al. 2006, THIEKEN et al. 2006). In der optionalen zweiten Modellstufe wird der geschätzte Schadensgrad aus der ersten Stufe mithilfe von Skalierungsfaktoren für die Fälle „keine Kontamination – keine Vorsorge“, bis „keine Kontamination – sehr gute Vorsorge“ und „starke Kontamination – keine Vorsorge“ verfeinert. Kontamination und Vorsorge sind jeweils in 3 Klassen eingeteilt. Eine Klasse bezieht sich dabei auf keine Kontamination bzw. keine Vorsorge. Die Klassen „mittlere“ und „starke“ Kontamination berücksichtigen sowohl die Art der Kontamination (z.B. Fäkalien, Chemikalien, Öl) als auch den Aspekt einer einfachen, doppelten oder dreifachen Kontamination des Überflutungswassers. Die Klassen „mittlere“ und „sehr gute“ Vorsorge berücksichtigen Art und Anzahl verschiedener Maßnahmen der Verhaltens- oder Bauvorsorge wie beispielsweise eine angepasste Nutzung oder Inneneinrichtung in den hochwassergefährdeten Stockwerken (Abb. 1; BÜCHELE et al. 2006, THIEKEN et al. 2006).

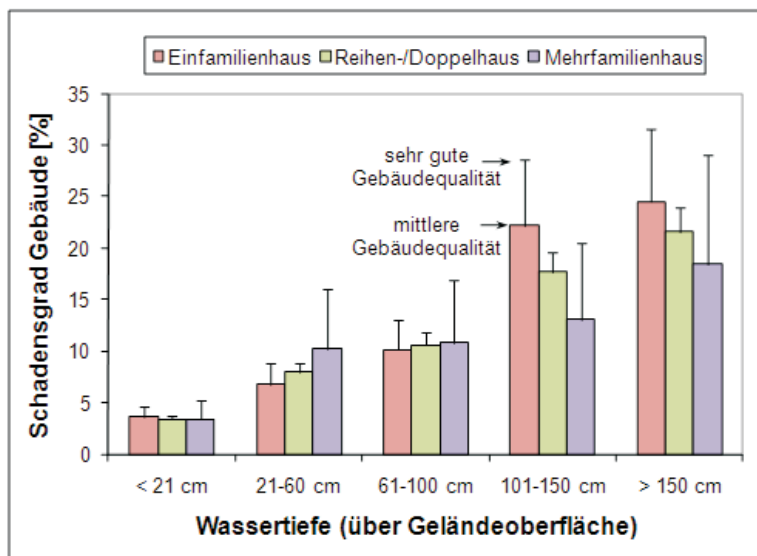
Bei der Anwendung des mikroskaligen Schadensmodells FLEMOps FHW muss also für jedes betroffene Wohngebäude entschieden werden, in welche Klasse (Kombination aus Wassertiefe, Gebäudetyp und Gebäudequalität) es gehört, sodass der mittlere Schädigungsgrad (Abb. 1) abgeschätzt werden kann. Der berechnete Schädigungsgrad kann dann in der zweiten Modellstufe FLEMOps+ FHW durch die Skalierungsfaktoren für Vorsorge und Kontamination (Abb. 1) angepasst werden.

Um FLEMOps+ FHW mesoskalig auf Basis von Landnutzungseinheiten anwenden zu können, sind von THIEKEN et al. (2008) und

WÜNSCH et al. (2009) Skalierungsverfahren entwickelt und evaluiert worden. Das hier für Dresden angewendete Skalierungsverfahren basiert auf Geomarketingdaten auf Wohnquartiersebene (INFAS GEODATEN 2005) und ATKIS-Landnutzungsdaten. Die INFAS-Gebäudetypen, die die Zusammensetzung des Gebäudebestandes beschreiben, wurden zunächst den drei Wohngebäudetypen (Einfamilienhäuser, Reihen-/Doppelhäuser und Mehrfamilienhäuser) des mikroskaligen Schadensmodells zugeordnet. Danach wurde der prozentuale Anteil der Gebäudetypen pro Wohnquartier ermittelt und die Wohngebäudezusammensetzung mit einer Clusterzentrenanalyse (k-means mit euklidischer Distanz) in fünf Cluster eingeteilt. Die Anteile der Gebäudetypen pro Cluster sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Es wird jeweils ein mittleres Schadensmodell aufgestellt, in das die Schadensfunktionen für die verschiedenen Gebäudetypen entsprechend ihrem Anteil im Cluster gewichtet eingehen.

Weiterhin enthalten die INFAS GEODATEN (2005) Angaben zur Gebäudequalität. Die Gebäude werden in sechs Qualitäts- bzw. Ausstattungsklassen eingeteilt, wobei „1“ eine exklusive Gebäudequalität/Ausstattung beschreibt und „6“ eine sehr einfache. Für die Anwendung des Schadensmodells wurde ein mittlerer Wert pro Wohnquartier berechnet, der in die zwei Klassen (sehr gute Gebäudequalität, mittlere Gebäudequalität) unterteilt wurde.

FLEMOps+ FHW ist ein relatives Schadensmodell, das heißt, es wird der prozentuale Schaden in Form von Schadensgraden (= Gebäudeschaden / Gebäudewert) geschätzt. Um den Hochwasserschaden in Geldwerten zu erhalten, muss der Schadensgrad noch mit den exponierten Wohngebäudewerten multipliziert werden (THIEKEN et al. 2008). Die Expositionsanalyse, das heißt die Abschätzung der exponierten Gebäudewerte im Untersuchungsgebiet, basiert zum einen auf der Erstellung eines Wertinventars für Wohngebäude auf Gemeinde- bzw. Stadtebene und zum anderen auf einer differenzierteren räumlichen Verortung dieser Werte mithilfe von Landnutzungsinformationen (WÜNSCH et al. 2009).



**1. Modellstufe: FLEMOps FHW**

**2. Modellstufe: FLEMOps+ FHW**

		Vorsorge		
		keine	gute	sehr gute
Kontamination	keine	0.92	0.64	0.41
	mittlere	1.20	0.86	0.71
	starke	1.58	---	---

**Abbildung 1**

Das bestehende Schadensmodell für Flusshochwasser: FLEMOps+ FHW (angepasst aus BÜCHELE et al. 2006, THIEKEN et al. 2006)  
 The existing Flood Loss Estimation Model for the private sector for riverine floods: FLEMOps+ FHW (adapted from BÜCHELE et al. 2006; THIEKEN et al. 2006)

**Tabelle 1**

Clusterzusammensetzung der Wohngebäudestruktur (Anteile der Gebäudetypen in Prozent pro Cluster; EFH: Einfamilienhaus, RDH: Reihen-/Doppelhaus, MFH: Mehrfamilienhaus) (angepasst aus THIEKEN et al. 2006)

*Mean composition of residential buildings in clusters (percentage of building type per cluster, EFH: one-family home, RDH: (semi-)detached house, MFH: multifamily house) (adapted from THIEKEN et al. 2006)*

Cluster	Anteil EFH [%]	Anteil RDH [%]	Anteil MFH [%]	Beschreibung
1	12,00	5,13	82,87	Mehrfamilienhaus-dominiert
2	31,35	24,58	44,07	Mischbebauung (hoher Anteil MFH)
3	37,51	46,19	16,30	Mischbebauung (hoher Anteil RDH)
4	68,51	21,43	10,05	Mischbebauung (hoher Anteil EFH)
5	92,25	4,81	2,94	Einfamilienhaus-dominiert

Für die Expositionsanalyse in Dresden wurden die Wiederherstellungskosten für Wohngebäude auf Gemeindeebene verwendet, die von KLEIST et al. (2006) auf Basis der Normalherstellungskosten des Referenzjahres 2000 (NHK2000) für ganz Deutschland abgeleitet wurden. Mithilfe des Baupreisindex für den Neubau von Wohngebäuden einschließlich der Umsatzsteuer erfolgte eine Umrechnung auf das Jahr 2002 für die mesoskalige Validierung, d.h. für die Schadensschätzung für das August-Hochwasser 2002 in Dresden. Die differenzierte räumliche Verortung der Wohngebäudewerte innerhalb Dresdens wurde mit der binären Verteilung auf Basis der ATKIS-Landnutzungsdaten mithilfe von kleinräumigen Geomarketingdaten auf Wohnquartiersebene der Firma INFAS GEODATEN (2005) analog einer Studie des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft in Nordrhein-Westfalen (MURL 2000) und MEYER (2005) durchgeführt. Alle Wohnquartiersflächen außerhalb der ATKIS-Siedlungsflächen (Objektarten 2111 und 2113) werden als unbewohnte Flächen definiert und somit bei der Schadensschätzung nicht berücksichtigt.

### 3 Weiterentwicklung des Modells für Grundhochwasserschäden (FLEMOps+ GHW)

#### 3.1 Daten und Methoden

##### 3.1.1 Befragungsdaten für die mikroskalige Weiterentwicklung und Validierung des Modells FLEMOps+ GHW

Es standen zwei Datensätze aus computergestützten Telefoninterviews mit hochwassergefährdeten Privathaushalten zur Verfügung (Tab. 2). Zum einen war im Nachgang des August-Hochwassers 2002 im Elbe- und Donaeinzugsgebiet (Daten-

satz A, THIEKEN et al. 2007), zum anderen im Rahmen des MULTISURE-Projektes im August und September 2007 eine Befragung in Dresden durchgeführt worden (Datensatz B, KREIBICH et al. 2009). Neben den finanziellen Schäden wurden zahlreiche Faktoren, die den Schaden beeinflussen könnten, abgefragt. Dazu gehören vor allem die hydrologische Belastung (z.B. Wassertiefe, Überflutungsdauer), aber auch die Kontamination des Hochwassers durch Abwasser oder Öl, die Hochwasserwarnung und durchgeführte Notmaßnahmen, langfristige Vorsorgemaßnahmen sowie der Wert und die Eigenschaften des betroffenen Haushalts und Wohngebäudes.

Gebäudespezifisch wurden aus Listen aller betroffenen Straßen zufällig Haushalte ausgewählt. Die Telefoninterviews waren mithilfe der VOXCO Software (www.voxco.com) vom SOKO-Institut für Sozialforschung und Kommunikation (www.soko-institut.de) durchgeführt worden. Die Befragung nach dem Hochwasser 2002 (Datensatz A) resultierte in 1.697 Interviews mit hochwasserbetroffenen Haushalten, davon waren 264 Schadensfälle als ausschließlich durch Grundhochwasser verursacht eingestuft worden, die restlichen 1.433 Schadensfälle waren durch Flusshochwasser mit und ohne zusätzliches Grundhochwasser verursacht (KREIBICH & THIEKEN 2008). Die Befragung in der Stadt Dresden (Datensatz B) resultierte in 605 Interviews mit Privathaushalten, von denen 54 überhaupt keine Hochwassererfahrung, 97 Erfahrung mit verschiedenen Hochwassertypen, aber nicht mit Grundhochwasser und 74 ausschließlich Erfahrung mit Grundhochwasser hatten. Die Mehrheit von 380 Haushalten hatte Erfahrung mit verschiedenen Hochwassertypen einschließlich Grundhochwasser (KREIBICH et al. 2009).

Die Weiterentwicklung des Schadensmodells für Grundhochwasser erfolgte auf Basis des Datensatzes A. Der Datensatz B diente der Validierung von FLEMOps+ GHW auf der Mikroskala sowie der Ableitung der Faktoren für Vorsorge und Kontamination für die mesoskalige Validierung (Tab. 3). Median und Mittelwert des Vorsorge- und Kontaminationsindicators wurden getrennt nach Grundhochwasserfälle und Flusshochwasserfälle für Dresden für das Jahr 2002 berechnet. Jeder befragte Haushalt wurde entsprechend seiner Angaben, welche und wie viele Maßnahmen der Verhaltens- und Bauvorsorge (s. KREIBICH

**Tabelle 2**

Beschreibung der computergestützten Telefonbefragungen mit hochwassergefährdeten Haushalten  
*Description of computer aided telephone interviews with flood-prone households*

Charakteristik	Befragung/Datensatz	
	A	B
Befragungszeitraum	April und Mai 2003	August und September 2007
Regionen	Elbe und Donau Einzugsgebiete in Deutschland	Dresden
Hochwasser	2002	1967 - 2007
Anzahl Interviews	1697	605
Anzahl ausschließlich Grundhochwasserfälle	264	74
Veröffentlichungen	THIEKEN et al. 2007	KREIBICH et al. 2009

**Tabelle 3**  
 Median (Mittelwert) des Vorsorge- und Kontaminationsindikators getrennt nach Grundhochwasserfälle und Flusshochwasserfälle für das Jahr 2002 für Dresden  
*Median (mean) of precautionary and contamination indicators separated for groundwater flooding and riverine flooding for the year 2002 for the city of Dresden*

Vorsorge		Kontamination	
Grundhochwasser	Flusshochwasser	Grundhochwasser	Flusshochwasser
gute (1,0)	keine (0,7)	keine (0,3)	keine (0,6)

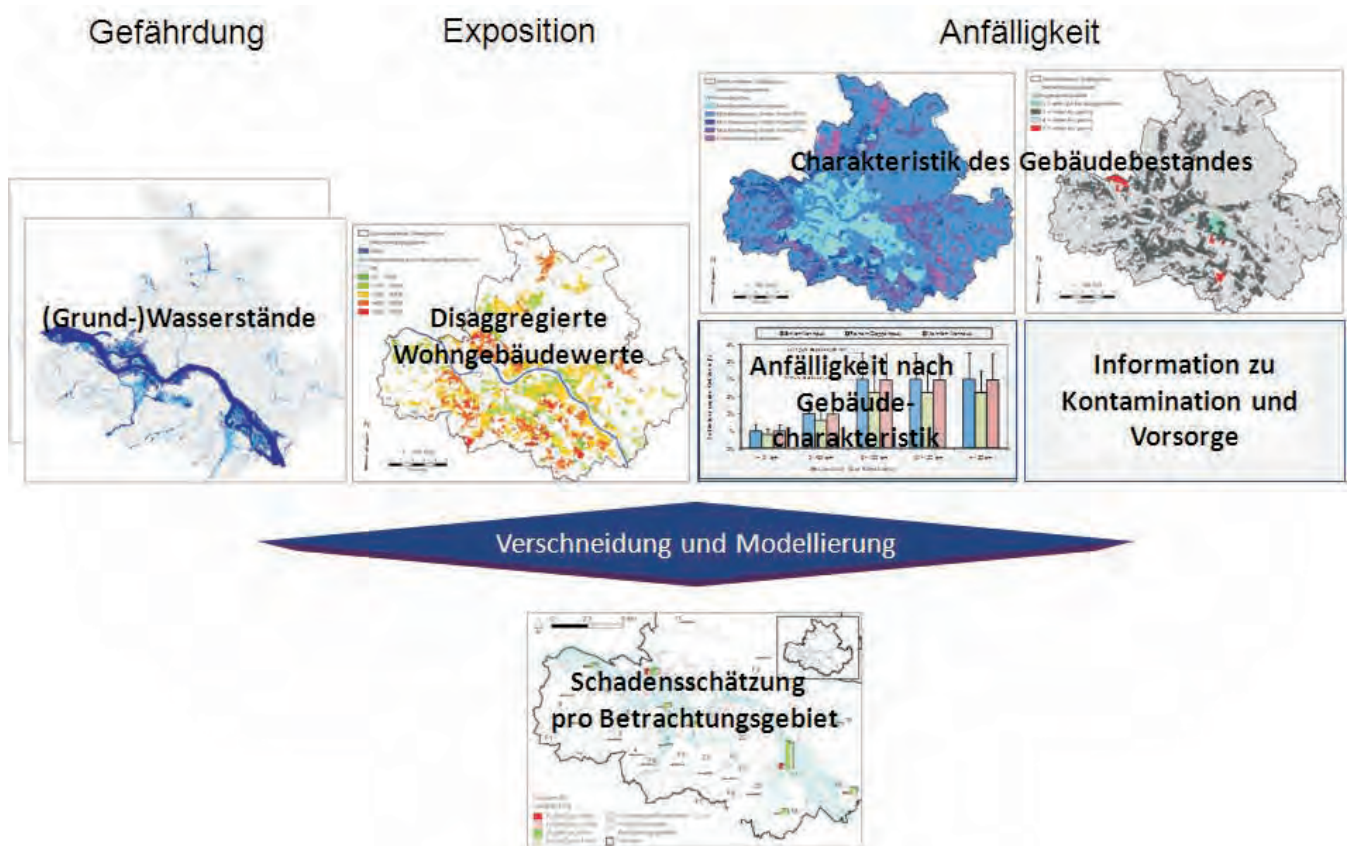
et al. 2011) vor dem Ereignis durchgeführt worden waren, in die folgenden drei Klassen eingeteilt: 0 = keine Vorsorge, 1 = gute Vorsorge und 2 = sehr gute Vorsorge. Dann wurde der Median (Mittelwert) der Vorsorgeindikator Klassen der Haushalte berechnet, die 2002 von Hochwasser betroffen waren (n = 60 Grundhochwasserbetroffene; n = 342 Flusshochwasserbetroffene). Außerdem wurde jeder befragte Haushalt entsprechend seiner Angaben zu aufgetretenen Kontaminationen beim Hochwasser 2002 (keine, Kontamination durch Abwasser, Chemikalien und/oder Öl) in die folgenden drei Klassen eingeteilt: 0 = keine Kontamination, 1 = mittlere Kontamination und 2 = starke Kontamination. Dann wurde der Median (Mittelwert) der Kontaminationsindikator Klassen der 2002 durch Grundhochwasser (n = 60) oder Flusshochwasser (n = 342) betroffenen Haushalte berechnet.

**3.1.2 Input-Daten und Methode für die mesoskalige Validierung des Modells FLEMOps+ GHW**

Für die Modellvalidierung auf der Mesoskala wurden die Wohngebäudeschäden durch Grundhochwasser und Flusshochwasser beim Hochwasser 2002 in Dresden mit FLEMOps+ GHW und FLEMOps+ FHW abgeschätzt (Abb. 2). Die Ergebnisse wurden zum einen mit einer unabhängigen

Abschätzung von Grundhochwasserschäden durch das Hochwasser 2002 in Dresden (BEAK CONSULTANTS 2006), zum anderen mit offiziellen Schadensangaben zum Hochwasser 2002 in Dresden verglichen (KORNDÖRFER 2006, Sächsische Aufbaubank (SAB), persönliche Kommunikation, Stand 17.02.2005).

Die mesoskalige Schadensabschätzung erfolgte rasterbasiert mit einer Rastergröße von 10\*10 m. Pro Rasterzelle wurde je nach Wassertiefenklasse bzw. Grundwasserflurabstandsklasse, Wohngebäudestrukturcluster und Gebäudequalitätsklasse ein mittlerer Schädigungsgrad berechnet, der multipliziert mit dem zugehörigen Vermögenswert für Wohngebäude einen absoluten Schaden pro Rasterzelle liefert (Abb. 2). Für das Endergebnis wurden alle absoluten Schäden der Rasterzellen pro stadträumlichem Betrachtungsgebiet und für ganz Dresden summiert. Im Plan Hochwasservorsorge Dresden (PHD) wurden 22 stadträumliche Betrachtungsgebiete festgelegt, welche jeweils mehrere Stadtbezirke umfassen (s. Abb. 4).



**Abbildung 2**  
 Schema der mesoskaligen Modellanwendung inklusive der benötigten Input-Daten  
*Sketch of the meso-scale model application including necessary input data*

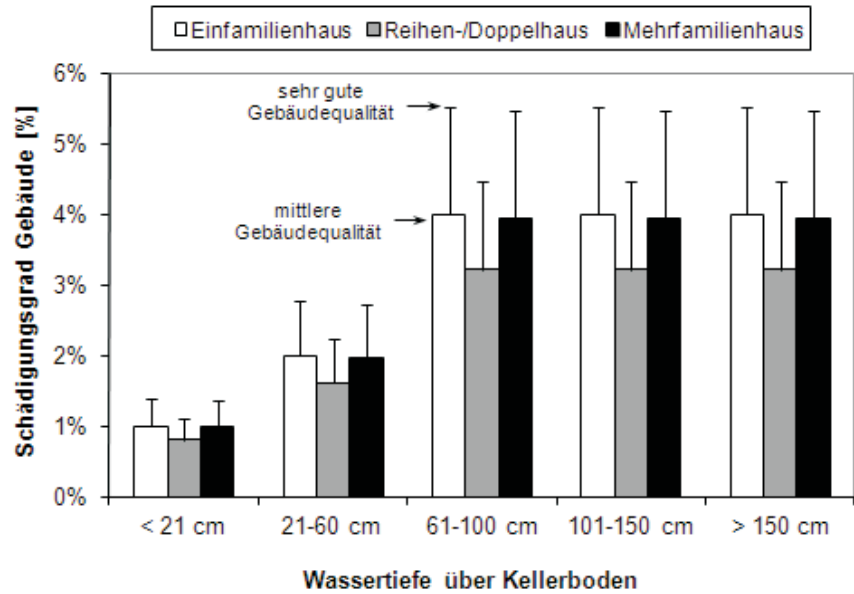
Die für die mesoskalige Validierung benötigten maximalen Wassertiefen für Grundhochwasser und Flusshochwasser beim Hochwasserereignis 2002 in Dresden waren durch GFI Grundwasserforschungsinstitut GmbH Dresden und Beak Consultants GmbH im Auftrag der Landeshauptstadt Dresden modelliert worden (BEAK CONSULTANTS 2006, GFI 2004). Um Doppelzählungen bei der Schadensmodellierung zu vermeiden, wurden die Wassertiefeninformationen so zusammengeführt, dass Grundwasserstände nur da ausgewiesen wurden, wo kein Flusshochwasser aufgetreten war. Das heißt, als Input für die Grundhochwasserschadensmodellierung wurden ESRI-Rasterdateien verwendet, welche die Grundwasserflurabstände als Differenz des aktuellen digitalen Geländemodells (DGM) der Landeshauptstadt Dresden und der modellierten maximalen (synoptischen) Grundwasserstände enthielten. Diese enthalten keine Werte innerhalb des Flusshochwassergebietes. Es wurde generell von einer Kellertiefe bei Wohngebäuden von 2,5 m ausgegangen. Das heißt, die Wassertiefenklassen über Kellerboden wurden in folgende Klassen der Grundwasserflurabstände übertragen: 250–230 cm; 229–190 cm; 189–150 cm; 149–100 cm und < 100 cm.

### 3.2 Mikroskalige Modellweiterentwicklung und Validierung

Die Weiterentwicklung des Schadensmodells für Grundhochwasserschäden basiert auf der Neuparametrisierung des Modells nur auf Basis der Grundhochwasserschadensfälle des Datensatzes A (Tab. 2). Das heißt, für die Ableitung von FLEMOps GHW wurden die 264 Grundhochwasser-Einzelschäden klassifiziert, entsprechend der Faktoren Wassertiefe (bis 20 cm, 21 bis 60 cm, 61 bis 100 cm, 101 bis 150 cm, über 150 cm über Kellerboden), Gebäudetyp (Einfamilienhaus, Reihen-/Doppelhaus, Mehrfamilienhaus) und Gebäudequalität (mittel, sehr gut). Für alle Teildatensätze wurden mittlere Schädigungsgrade berechnet (Abb. 3). Bei den Grundhochwasserschäden zeigte sich, dass die Schäden bei Wassertiefen zwischen null und einem Meter über Kellerboden stark ansteigen, danach aber keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Schädigungsgrade zwischen den weiteren Wassertiefenklassen zu verzeichnen waren (Abb. 3).

Für die zweite Modellstufe FLEMOps+ GHW wurden die 264 Grundhochwasser-Einzelschäden entsprechend den Angaben zur privaten Vorsorge und Kontamination jeweils in 3 Klassen (keine, mittlere, sehr gute / starke) eingeteilt. Allerdings zeigte sich, dass es für die Abschätzung von Grundhochwasserschäden ausreichend ist, zwischen „keine Kontamination“ und „Kontamination“ zu unterscheiden, da die Klassen mittlere und starke Kontamination hinsichtlich der Schädigungsgrade keine signifikanten Unterschiede aufwiesen (Tab. 4).

Für die mikroskalige Validierung von FLEMOps+ GHW wurde das Modell auf den unabhängigen Datensatz B (Tab. 2) angewendet, wobei nur die allein durch Grundhochwasser verursachten Schadensfälle (n = 74) berücksichtigt wurden. Die Modellgüte wird als „gut“ erachtet, die mittleren geschätzten Gebäudeschädigungsgrade liegen innerhalb des 2,5 %- bis 97,5 %-Konfidenzintervalls (Tab. 5). Das Konfidenzintervall des mittleren Schädigungs-



**Abbildung 3**  
FLEMOps GHW, erste Modellstufe für die Grundhochwasserschadensschätzung  
FLEMOps GHW, first model stage for groundwater flood damage estimation

**Tabelle 4**

Zweite Modellstufe FLEMOps+ GHW: Skalierungsfaktoren für Kontamination und Vorsorge für Schäden an privaten Wohngebäuden durch Grundhochwasser  
Second model stage of FLEMOps+ GHW: Scaling factors for different levels of contamination and precautionary measures for damage to residential buildings due to groundwater flooding

		Vorsorge		
		keine	gute	sehr gute
Kontamination	keine	1,09	0,70	0,55
	mittlere	1,34	0,86	0,68
	starke	1,34	0,86	0,68

ungsgrads wurde berechnet auf Basis von 10.000 simulierten Zufallsstichproben der Grundhochwasserschadensdaten des Datensatzes B, die mit Zurücklegen gezogen wurden (Bootstrap-Methode nach EFRON 1979). Außerdem wurde die Fehlerstatistik berechnet (Tab. 5). Der sehr kleine, negative, mittlere systematische Fehler (MBE) für beide Modellstufen weist auf eine leichte Tendenz zur Unterschätzung hin. Der mittlere absolute Fehler (MAE) und die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (RMSE) haben dieselbe Einheit wie die Daten, d.h. die Schädigungsgrade. Sie liefern damit eine Aussage über die Größe eines „typischen“ Fehlers. Der MAE ist kleiner als der RMSE, da letzterer deutlich sensitiver auf Ausreißer reagiert. Der kleine RMSE deutet auf eine geringe Streuung der Fehler hin. Die Fehlerstatistik zeigt, dass die zweite Modellstufe (FLEMOps+ GHW) nicht zu einer Verbesserung der Schadensschätzung führt. FLEMOps+ GHW neigt stärker zur Unterschätzung und zeigt eine leicht höhere Streuung der Fehler als FLEMOps GHW (Tab. 5).

### 3.3 Validierung auf der Mesoskala

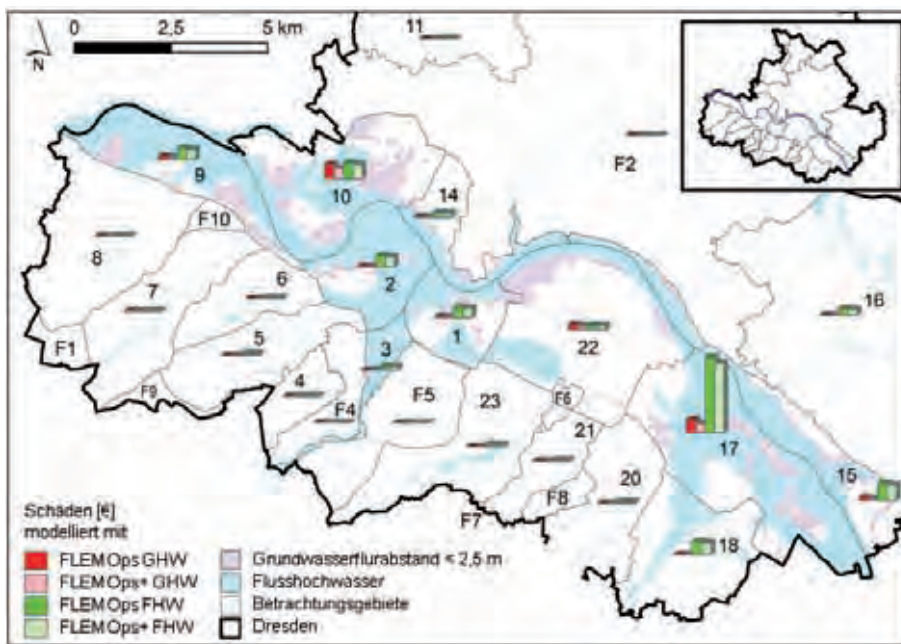
Mit FLEMOps GHW wurden grundhochwasserbedingte Wohngebäudeschäden von 62,8 Mio. € und mit FLEMOps FHW flusshochwasserbedingte Wohngebäudeschäden von 276,6 Mio. € beim Hochwasser 2002 in Dresden geschätzt (Tab. 6). Die zweite Modell-



<b>Tabelle 5</b> Auswertung zum Konfidenzintervall und Fehlerstatistik für die Abschätzung der Gebäudeschädigungsgrade <i>Analysis of confidence interval and error statistics for the estimation of damage ratios for buildings</i>		
<b>Datensatz B</b>	Konfidenzintervall	
Mittlerer Schädigungsgrad	2,5 %- Perzentil	97,5 %- Perzentil
0,02900	0,00798	0,05432
<b>Schätzung</b>	FLEMOps GHW	FLEMOps+ GHW
Modellierter mittlerer Schädigungsgrad	0,02750	0,02124
Innerhalb Konfidenzintervall	Ja	Ja
Mittlerer systematischer Fehler (MBE)	-0,00009	-0,00020
Mittlerer absoluter Fehler (MAE)	0,00042	0,00042
Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (RMSE)	0,00428	0,00478

<b>Tabelle 6</b> Vergleich offizieller Schadensangaben und modellierter Wohngebäudeschäden in Mio. € in Dresden beim Hochwasser 2002 <i>Comparison of official and modelled damage data of residential buildings in million € due to 2002 flood in Dresden</i>					
	FLEMOps GHW/FHW	FLEMOps+ GHW/FHW	BEAK CONSUL- TANTS 2006	KORNDÖRFER 2006	SAB 2005*
Grundhochwasserschäden	62,8	44,0	71,5		
Flusshochwasserschäden	276,6	254,5			
Gesamtschäden	339,4	298,4		304,0	239,8

\* persönliche Kommunikation, Stand 17.02.2005



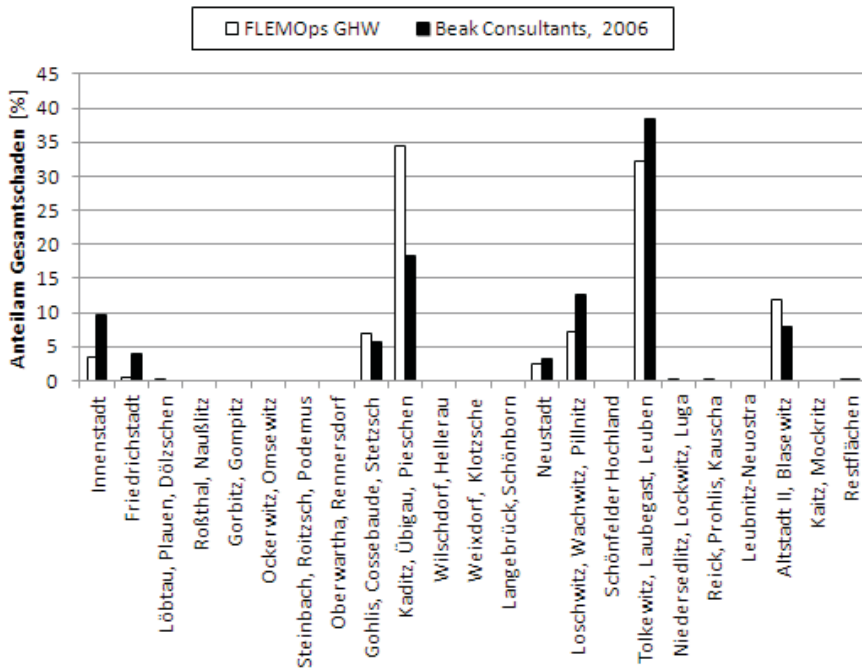
**Abbildung 4**

Räumliche Verteilung der modellierten Grundhochwasser- und Flusshochwasserschäden in Dresden beim Hochwasser 2002 (Datenquelle: Umweltamt der Landeshauptstadt Dresden: Flusshochwasser-überflutungsflächen und -tiefen, Grundwasserflurabstände, Betrachtungsgebiete)  
*Spatial distribution of modelled damage to residential buildings due to groundwater and riverine flooding in 2002 in Dresden (Data source: Environmental Agency of the city of Dresden: riverine flood inundation areas/depth, groundwater levels, districts)*

stufe FLEMOps+ GHW schätzte niedrigere Schäden in Höhe von 44,0 Mio. € durch Grundhochwasser. Mit FLEMOps+ FHW wurden Schäden von nur 254,5 Mio. € durch Flusshochwasser geschätzt. Die räumliche Verteilung der Schäden in Dresden ist Abbildung 4

zu entnehmen. Die mit den ersten bzw. beiden Modellstufen geschätzten Gesamtschäden von 339,4 Mio. €, respektive von 298,4 Mio. € liegen in derselben Größenordnung wie offizielle Schadensangaben von 304 Mio. € (KORNDÖRFER 2006) und 239,8 Mio. € förderfähige Kosten laut Sächsischer Aufbaubank (SAB, persönliche Kommunikation, Stand 17.02.2005). Die Schätzungen von Grundhochwasserschäden an Wohngebäuden durch FLEMOps GHW (62,8 Mio. €) und FLEMOps+ GHW (44,0 Mio. €) liegen in derselben Größenordnung, sind aber etwas niedriger als die Schätzung von 71,5 Mio. € für grundhochwasserbedingte Schäden am immobilien Siedlungsvermögen durch BEAK CONSULTANTS (2006) (Tab. 6). In der Zusammenschau mit der mikroskaligen Validierung (Tab. 5) wird eine Unterschätzung der Schäden durch FLEMOps+ GHW für Grundhochwasser angenommen.

Von BEAK CONSULTANTS (2006) liegen außerdem Schätzungen der Grundhochwasserschäden 2002 für den Bereich Siedlung (immobiles-, mobiles- und PKW-Vermögen) auf Ebene der stadträumlichen Betrachtungsgebiete vor. Diese können zwar nicht direkt mit den FLEMOps GHW Schätzungen der Wohngebäudeschäden 2002 verglichen werden, ermöglichen aber einen relativen Vergleich der Anteile der stadträumlichen Betrachtungsgebiete am Ge-



**Abbildung 5**

Relativer Vergleich der modellierten Grundhochwasserschäden mit FLEMOps GHW und von BEAK CONSULTANTS (2006): Anteil der stadträumlichen Betrachtungsgebiete am Grundhochwasserschaden in Dresden beim Hochwasser 2002 in %

Relative comparison of modelled damage with FLEMOps GHW and by BEAK CONSULTANTS (2006) due to groundwater flooding during and after the 2002 flood: Fraction of groundwater flood damage in % per district "stadträumliche Betrachtungsgebiete" in Dresden

samtschaden in Dresden (Abb. 5). Das generelle Muster beider Abschätzungen ist gleich, am stärksten betroffen sind die beiden stadträumlichen Betrachtungsgebiete Tolkewitz, Laubegast, Leuben (Nr. 17 in Abb. 4) und Kaditz, Übigau, Pieschen (Nr. 10), danach folgen mit deutlich geringeren Schadensanteilen die vier stadträumlichen Betrachtungsgebiete Loschwitz, Wachwitz, Pillnitz (Nr. 15), Innenstadt (Nr. 1), Altstadt II, Blasewitz (Nr. 22) und Gohlis, Cossebaude, Stetzsch (Nr. 9). Jedoch differieren die geschätzten Schadensanteile insbesondere für das stadträumliche Betrachtungsgebiet Kaditz, Übigau, Pieschen (Nr. 10) erheblich. Gründe für diese Diskrepanz konnten leider nicht identifiziert werden.

**3.4 Sensitivitätsanalyse**

Für die Risikomodellierung wurde eine klassische Sensitivitätsanalyse nach ANDERSON & BURT (1995) durchgeführt. Um abzuschätzen wie groß der Einfluss einzelner Modellparameter (Grundwasserflurabstand, spezifischer Vermögenswert) gegenüber anderen Modellparametern in Bezug auf das Ergebnis war, wurde ein Parameterwert prozentual vergrößert bzw. verkleinert, während alle anderen Parameter konstant blieben. Die Sensitivität lässt sich durch den Sensitivitätsindex nach DE ROO (1993) quantifizieren, welcher das Verhältnis zwischen der relativen Änderung des Modellergebnisses und der relativen Änderung eines Modellparameters abbildet und üblicherweise in vier Klassen von gering bis sehr hoch eingeteilt wird (LENHART et al. 2002).

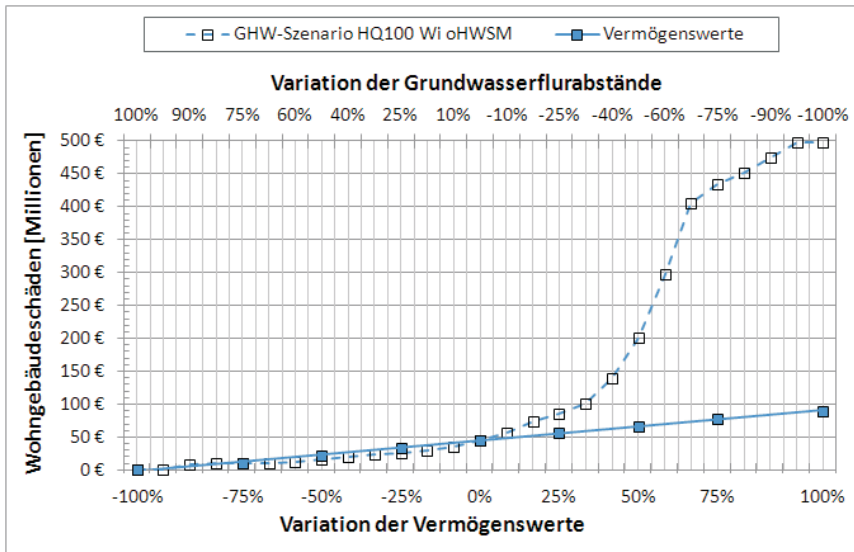
Die für die Sensitivitätsanalyse verwendeten Grundwasserflurabstandsdaten stammen von einem Grundhochwasserszenario, das vom Dresdner Grundwasserforschungszentrum im

Rahmen des Projekts MULTISURE entwickelt worden war (DGFZ 2011). Die Grundhochwasserkarte zeigt die minimalen (synoptischen) Grundwasserflurabstände bei und nach einem Hochwasser der Elbe mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (HQ100; dies entspricht einem Wasserstand von 9,24 m PN am Pegel Dresden) bei winterlichem Verlauf und Randbedingungen und ohne Berücksichtigung von Hochwasserschutzmaßnahmen laut „Plan Hochwasservorsorge“ der Landeshauptstadt Dresden (Kurzbezeichnung: Grundhochwasserszenario HQ100 Wi oHWSM in DGFZ 2011). Der Mittelwert der schadensrelevanten Grundwasserflurabstände (d.h. Grundwasserflurabstände  $\leq 2,50$  m) dieses Szenarios liegt bei 1,65 m (Median: 1,80 m; 25 %-Perz.: 1,30 m; 75 %-Perz.: 2,19 m), was folgenden Wassertiefen über Kellerboden entspricht: Mittelwert: 85 cm; Median: 70 cm; 25 %-Perz.: 1,20 m; 75 %-Perz.: 31 cm. Eine Erhöhung der Grundwasserflurabstände um 100 % bedeutet, dass das 25 %-Perzentil  $> 2,50$  m ist und somit der Großteil der Grundwasserflurabstände nicht mehr schadensrelevant ist. Die Verringerung der Grundwasserflurabstände um 100 % bedeutet, dass das Grundhochwasser die Geländeoberfläche erreicht.

Die von diesem Grundhochwasserszenario betroffenen Vermögenswerte, d.h. die Wiederherstellungskosten für Wohngebäude (s. Kapitel 2) liegen zwischen 0 und 880 €/m<sup>2</sup> mit einem Mittelwert von 191 €/m<sup>2</sup> (Median: 0). Eine Erhöhung der Vermögenswerte um 100 % bedeutet, dass der Mittelwert auf 382 €/m<sup>2</sup> steigt, bei einer Steigerung um ca. 360 % würde der Mittelwert den ursprünglichen Maximalwert erreichen.

Die Verlaufskurven der Sensitivitätsanalyse sind in Abbildung 6 dargestellt. Die Veränderung des spezifischen Vermögenswerts bis  $\pm 100$  % und die Vergrößerung des Grundwasserflurabstandes bis 100 % zeigen einen nahezu linearen Verlauf und eine sehr ähnliche Auswirkung auf das Modellierungsergebnis, d.h. den mit FLEMOps modellierten Wohngebäudeschaden durch Grundhochwasser in Dresden. Beispielsweise führt eine 50 %ige Erhöhung des Grundwasserflurabstandes (d.h. zum Beispiel die mittlere Wassertiefe über Kellerboden wird von 85 cm auf 3 cm verringert) zu einer Minderung des modellierten Wohngebäudeschadens um 65 %, während eine 50 %ige Verkleinerung des spezifischen Vermögenswertes (d.h. beispielsweise der mittlere Vermögenswert wird von 191 €/m<sup>2</sup> auf 96 €/m<sup>2</sup> verringert) zu einer Minderung des modellierten Wohngebäudeschadens um 50 % führt.

Im Gegensatz dazu hat die Verkleinerung des Grundwasserflurabstandes (d.h. Grundwasserspiegelerhöhung) einen deutlich größeren Einfluss auf die modellierten Wohngebäudeschäden. Bei -10 % des Grundwasserflurabstandes (d.h. beispielsweise die mittlere Wassertiefe über Kellerboden wird von 85 cm auf 102 cm erhöht) steigt der modellierte Schaden um 27 %, bei 25 %iger Verringerung des Grundwasserflurabstandes (d.h. zum



**Abbildung 6**  
Verlaufskurven der Sensitivitätsanalyse für die Modellierung der Wohngebäudeschäden durch das Grundhochwasserszenario HQ100 Wi oHWSM  
*Sensitivity curves for the modelling of groundwater flood damage to residential buildings based on groundwater flood scenario HQ100 Wi oHWSM*

**Tabelle 7**  
Sensitivitätsindizes (SI) nach DE ROO (1993) eingeteilt in Sensitivitätsklassen nach LENHART et al. (2002) für die Modellierung der Wohngebäudeschäden durch das Grundhochwasserszenario HQ100 Wi oHWSM  
*Sensitivity indices (SI; DE ROO 1993) subdivided into sensitivity classes (LENHART et al. 2002) for the modelling of groundwater flood damage to residential buildings based on groundwater flood scenario HQ100 Wi oHWSM*

Sensitivität		%uale Veränderung des	
SI-Klassen	Bewertung	Grundwasserflurabstands	spezifischen Vermögenswerts
$0,00 \leq SI < 0,05$	gering	> -1,2 bis 0,0%	0,0 bis < 2,5%
$0,05 \leq SI < 0,20$	mittel	> -5,0 bis -1,2%	2,5 bis < 10,0%
$0,20 \leq SI < 1,00$	hoch	> -20,0 bis -5,0%	10,0 bis < 50,0%
$SI \geq 1,00$	sehr hoch	$\leq -20,0\%$	$\geq 50,0\%$

Beispiel die mittlere Wassertiefe über Kellerboden wird von 85 cm auf 126 cm erhöht) ist der modellierte Schaden mit 91 % schon nahezu verdoppelt. Zwischen -30 % und -70 % des Grundwasserflurabstandes reagiert das Modellierungsergebnis besonders sensitiv. Der Grund dafür liegt im Wesentlichen an den Gebieten mit Grundwasserflurabständen, die erst durch diese Erhöhung in den schadensrelevanten Bereich  $\leq 2,50$  m kommen.

Diese Verläufe spiegeln sich auch in den Sensitivitätsindizes und Klassen wider (Tab. 7). Schon ab gut einem Prozent Grundwasserflurabstandsverringern wird die mittlere Sensitivitätsklasse erreicht. Was nicht daran liegt, dass sich beispielsweise der mittlere Grundwasserflurabstand von 1,65 m auf 1,63 m verringert, sondern dass dadurch mehr Gebiete in den schadensrelevanten Bereich kommen. Sehr hohe Sensitivität wird bereits bei 20 %iger Grundwasserflurabstandsverringern erreicht, während dies erst bei einer 50 %igen Vermögenswertsteigerung der Fall ist.

Demnach muss bei der Grundhochwasserrisikoanalyse besonders auf eine verlässliche Grundwassermodellierung Wert gelegt werden. Die geringere Sensitivität in Bezug auf die spezifischen

Vermögenswerte, die sich auch bei einer weiteren Steigerung der Werte über + 100 % hinaus in gleicher Weise linear fortsetzt (Ergebnisse werden hier nicht gezeigt), bestätigt die gute Eignung einer mesoskaligen Schadensmodellierung.

#### 4 Fazit

Die Entwicklung eines speziellen multifaktoriellen Schadensmodells für den Fall Grundhochwasser lohnt sich, da dieses eine eindeutige Verbesserung im Vergleich zur Anwendung von Wasserstands-Schaden-Funktionen, die für Flusshochwasser entwickelt wurden, bringt (KREIBICH & THIEKEN 2008). Allerdings führt die Berücksichtigung von Vorsorge und Kontamination in FLEMOps+ GW im Grundhochwasserfall nicht zu signifikanten Verbesserungen, wie dies bei der Flusshochwasserschadensmodellierung mit FLEMOps+ FHW der Fall ist (THIEKEN et al. 2008). Doch selbst wenn man berücksichtigt, dass FLEMOps+ GW zur Unterschätzung neigt, wurde durch seine Anwendung ein erhebliches Schadensminderungspotential durch gute private Vorsorge und die Vermeidung von Kontaminationen angedeutet (Tab. 6), was mit den Ergebnissen von mikroskaligen Analysen übereinstimmt (KREIBICH et al. 2011). Vor allem ist jedoch wichtig, dass die mithilfe der Telefonbefragung 2007 (Datensatz B) und offiziellen Schadensangaben durchgeführten Modellvalidierungen zeigen, dass das empirisch abgeleitete Modell FLEMOps GW für Grundhochwasserschäden verlässliche Ergebnisse liefert, und zwar sowohl auf der Mikro- als auch auf der Mesoskala. Die durchgeführte Sensitivitätsanalyse deutet zusätzlich auf die gute Eignung dieses mesoskaligen Ansatzes zur Grundhochwasserschadensmodellierung hin.

Mit der mesoskaligen Version von FLEMOps GW wurde somit ein Modell entwickelt, das in der Lage ist, mit relativ wenig Aufwand für große Gebiete verlässliche Aussagen zu Grundhochwasserschäden an Wohngebäuden zu liefern. Damit ist FLEMOps GW ein effizientes Werkzeug zur Durchführung von Grundhochwasserrisikoanalysen. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass eine verlässliche Grundwassermodellierung, die erheblichen Aufwand erfordert, als Input für die Schadensmodellierung und somit für die Risikoanalyse essentiell ist.

#### 5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die Weiterentwicklung des multifaktoriellen Modells für die Schätzung von Grundhochwasserschäden FLEMOps+ GW dargestellt. Die mikroskalige Modellableitung erfolgte auf Basis der Grundhochwasserschadensfälle einer Befragung zum Hochwasser 2002 (THIEKEN et al. 2007). Mithilfe von Befragungsdaten aus Dresden (KREIBICH et al. 2009) konnte FLEMOps+ GW mikroskalig erfolgreich validiert werden. FLEMOps GW wurde auf die Mesoskala hochskaliert, sodass es

auf Basis von Landnutzungseinheiten anwendbar ist. Die meso-skalige Validierung anhand von offiziellen Schadensangaben zum Hochwasser 2002 in Dresden sowie die durchgeführte Sensitivitätsanalyse deuten auf eine gute Eignung des mesoskaligen Ansatzes von FLEMOps GHW zur Grundhochwasserschadenschätzung hin.

### Summary

In this paper, the further development of the multifactorial flood loss model for the evaluation of groundwater flood damages FLEMOps+ GHW is presented. The micro-scale model derivation has been based on the groundwater flood damage cases of a survey undertaken after the 2002 flood (THIEKEN et al. 2007). A survey in Dresden (KREIBICH et al. 2009) enabled a successful micro-scale validation. An up-scaling of FLEMOps+ GHW to the meso-scale allows its application on the basis of land use data. The meso-scale validation based on official flood damage data of the 2002 flood in Dresden and a sensitivity analysis are indicative of a very good suitability of the meso-scale approach of FLEMOps GHW.

### Danksagung

Die dargestellten Ergebnisse und die Befragung in Dresden wurden im Rahmen des Projektes MULTISURE – Entwicklung Multiszenarienzueller Vorsorgestrategien für grundhochwassergefährdete urbane Lebensräume erarbeitet. Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (FKZ. 0330755) und dem Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) für die finanzielle Unterstützung. Die Befragung zum Hochwasser 2002 erfolgte im Rahmen des Deutschen Forschungsnetz Naturkatastrophen und wurde finanziert durch die Deutsche Rückversicherung AG und das BMBF (FKZ. 01SFR9969/5).

### Anschriften der Verfasser:

Dr. H. Kreibich  
Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)  
Sektion 5.4 Hydrologie  
Telegrafenberg C4, 14473 Potsdam  
kreib@gfz-potsdam.de

S. Meyer  
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Hochwasservorhersagezentrale, Betriebsstelle Hannover-Hildesheim  
Göttinger Chaussee 76 A, 30453 Hannover

Prof. Dr. B. Dieckkrüger  
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Geographisches Institut  
Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn

### Literaturverzeichnis

AL-SEFRY, S. & Z. SEN (2006): Groundwater rise problem and risk evaluation in major cities of arid lands – Jeddah case in Kingdom of Saudi Arabia. – *Water Resour. Manage.* 20 (1), 91–108

ANDERSON, M.G. & T.P. BURT (1995): Modelling Strategies. In: Anderson, M.G. & T.P. Burt (Hrsg.): *Hydrological Forecasting*. – Wiley, Chichester, 1–14

BEAK CONSULTANTS (2006): Ermittlung des Schadenpotenzials von Hochwassern der Elbe, der Gewässer erster und zweiter Ordnung und des Grundwassers auf dem Gebiet der Stadt Dresden – Hochwasser Dresden 2002. Im Auftrag der Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt. – Beak Consultants GmbH, Freiberg

BÜCHELE, B., H. KREIBICH, A. KRON, A.H. THIEKEN, J. IHRINGER, P. OBERLE, B. MERZ & F. NESTMANN (2006): Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. – *NHESS* 6, 485–503

DE ROO, A.P.J. (1993): Modelling surface runoff and soil erosion in catchments using geographical information systems validity and applicability of the 'ANSWERS' model in two catchments in the loess area of South Limburg (The Netherlands) and one in Devon (UK). – *Netherlands Geographical Studies*, Vol. 157, University of Utrecht

DGFZ (Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.) (Hrsg.) (2011): *Unterirdische Schadenspotenziale durch Grundhochwasser in urbanen Lebensräumen*. – Gemeinsame Mitteilungen des Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. und seiner Partner, Heft 06, ISSN1611-5627 (im Druck)

EFRON, B. (1979): Bootstrap methods: Another look at the jackknife. – *Ann. Stat.* 7, 1–26

GFI (GFI Grundwasserforschungsinstitut GmbH Dresden) (2004): Neubewertung der beim Hochwasser aufgemessenen Grundwasserstandsganglinien bezüglich der Repräsentanz für höchste Wasserstände. – Im Auftrag der Landeshauptstadt Dresden, Dresden

HAGERTY, D.J. & K. LIPPERT (1982): Rising ground water – problem or resource? – *Ground Water* 20 (2), 217–223

HAMDAN, L. & A. MUKHOPADHYAY (1991): Numerical simulation of subsurface- water rise in Kuwait City. – *Ground Water* 29 (1), 93–104

HARDT, W.F. & C.B. HUTCHINSON (1978): Model aids planners in predicting rising ground-water levels in San Bernardino, California. – *Ground Water* 16 (6), 424–431

HYDROTEC (2001): Hochwasser-Aktionsplan Lippe. Teil I: Berichte und Anlagen. – Studie im Auftrag des StUA Lippstadt, Aachen

IKSR (Internationale Kommission zum Schutz des Rheins) (2001): *Rhine-Atlas*. – Koblenz

INFAS GEODATEN (2005): *Das DataWherehouse*. – INFAS GEODaten GmbH, Bonn

- KLEIST, L., A.H. THIEKEN, P. KÖHLER, M. MÜLLER, I. SEIFERT, D. BORST & U. WERNER (2006): Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for comparative risk assessment for Germany. – NHESS 6, 541–552
- KORNDÖRFER, C. (2006): The flood in August 2002 – consequences on flood protection for the city of Dresden. – In: Schanze, J., E. Zeman, J. Marsalek (Hrsg.) *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. – Springer, Dordrecht, 267–273
- KREIBICH, H., S. CHRISTENBERGER & R. SCHWARZE (2011): Economic motivation of households to undertake private precautionary measures against floods. – NHESS 11 (2), 309–321
- KREIBICH, H. & A.H. THIEKEN (2008): Assessment of damage caused by high groundwater inundation. – *Water Resour. Res.* 44, W09409, doi:10.1029/2007WR006621
- KREIBICH, H., A.H. THIEKEN, H. GRUNENBERG, K. ULLRICH & T. SOMMER (2009): Extent, perception and mitigation of damage due to high groundwater levels in the city of Dresden, Germany. – NHESS 9, 1247–1258
- LANDESHAUPTSTADT DRESDEN (2005): Auswirkungen des Hochwassers 2002 auf das Grundwasser. Projektabschlussbericht. – Landeshauptstadt Dresden, Dresden
- LENHART, T., K. ECKHARDT, N. FOHRER & H.-G. FREDE (2002): Comparison of two different approaches of sensitivity analysis. – *Physics and Chemistry of the Earth* 27 (9–10), 645–654
- MERZ, B. & A.H. THIEKEN (2004): Flood Risk Analysis: Concepts and Challenges. – *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 56 (3–4), 27–34
- MEYER, V. (2005): Methoden der Sturmflut-Schadenspotenzialanalyse an der deutschen Nordseeküste. – Dissertation, Universität Hannover ([http://www.ufz.de/data/ufzdiss\\_03\\_2005\\_optimiert4200.pdf](http://www.ufz.de/data/ufzdiss_03_2005_optimiert4200.pdf))
- MURL (2000): Potentielle Hochwasserschäden am Rhein in NRW. – Ministerium für Umwelt Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- THIEKEN, A.H., H. KREIBICH, M. MÜLLER & B. MERZ (2006): Schäden in Privathaushalten während des August-Hochwassers 2002: Analyse von Einflussfaktoren und Konsequenzen für die Modellbildung. – In: Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse. Tag der Hydrologie 22./23.03.2006 in München (Disse, M., K. Guckenberger, S. Pakosch, A. Yörük & A. Zimmermann; Hrsg.). – *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 15.06 (2), 245–253
- THIEKEN, A.H., H. KREIBICH, M. MÜLLER & B. MERZ (2007): Coping with floods: A survey among private households affected by the August 2002 flood in Germany. – *Hydrological Sciences Journal* 52 (5), 1016–1037
- THIEKEN, A.H., A. OLSCHESKI, H. KREIBICH, S. KOBSCHE & B. MERZ (2008): Development and evaluation of FLEMOps – a new Flood Loss Estimation Model for the private sector. – In: Proverbs, D., C.A. Brebbia, E. Penning-Rowsell (Hrsg.) *Flood Recovery, Innovation and Response*. – WIT Press, Chichester, 315–324
- WÜNSCH, A., U. HERMANN, H. KREIBICH & A.H. THIEKEN (2009): The Role of Disaggregation of Asset Values in Flood Loss Estimation: A Comparison of Different Modelling Approaches at the Mulde River, Germany. – *Environmental Management* 44 (3), 524–541

Björn Tetzlaff und Frank Wendland

# Räumlich differenzierte Modellierung der Phosphorbelastung in den hessischen Oberflächengewässern für Zwecke der Maßnahmenplanung nach EG-WRRL

**Spatially distributed modelling of phosphorus loads in Hessian surface waters for planning purposes pursuant to the EC WFD**

Hohe Nährstoffeinträge und ihre Folgen stellen in vielen hessischen Oberflächengewässern eine signifikante Belastung dar. Um im Zuge der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie Maßnahmen zur Reduzierung der Belastung durchführen zu können, werden nach Herkunftsflächen und Eintragspfaden differenzierte Daten benötigt. Das Forschungszentrum Jülich wurde beauftragt, eine landesweite Quantifizierung der P-Einträge bei einer Rasterweite von 20 m mit dem Modell MEPhos durchzuführen. Dabei wurden folgende Eintragspfade berücksichtigt: Dränagen, grundwasserbürtiger Abfluss, Erosion, Abschwemmung, kommunale Kläranlagen, industrielle Direkteinleiter, Trennkanalisation und Mischwasserentlastung. Die Ergebnisse werden zur Unterstützung bei der Erstellung von Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie eingesetzt.

**Schlagwörter:** Maßnahmenplanung nach WRRL, Modellierung der Phosphatbelastung, Oberflächengewässer, Phosphatbelastung

In many surface waters in the Federal State of Hesse high nutrient inputs and their consequences constitute a significant pressure. The implementation of measures to reduce this pressure pursuant to the EC Water Framework Directive (WFD) presupposes data differentiated for sources and pathways. The Jülich Research Centre was charged with a state-wide quantification of phosphorus inputs by means of the model MEPhos in a resolution of 20 m grid-cell width. The following pathways were considered: artificial drainage, groundwater, erosion, wash-off, municipal wastewater treatment plants, industrial effluents, stormwater sewers, and combined-sewer overflows. The findings will be used to support the formation of management plans and action programmes pursuant to the WFD.

**Keywords:** Modelling of phosphorus loads, phosphorus loads, planning measures according to WFD, surface waters

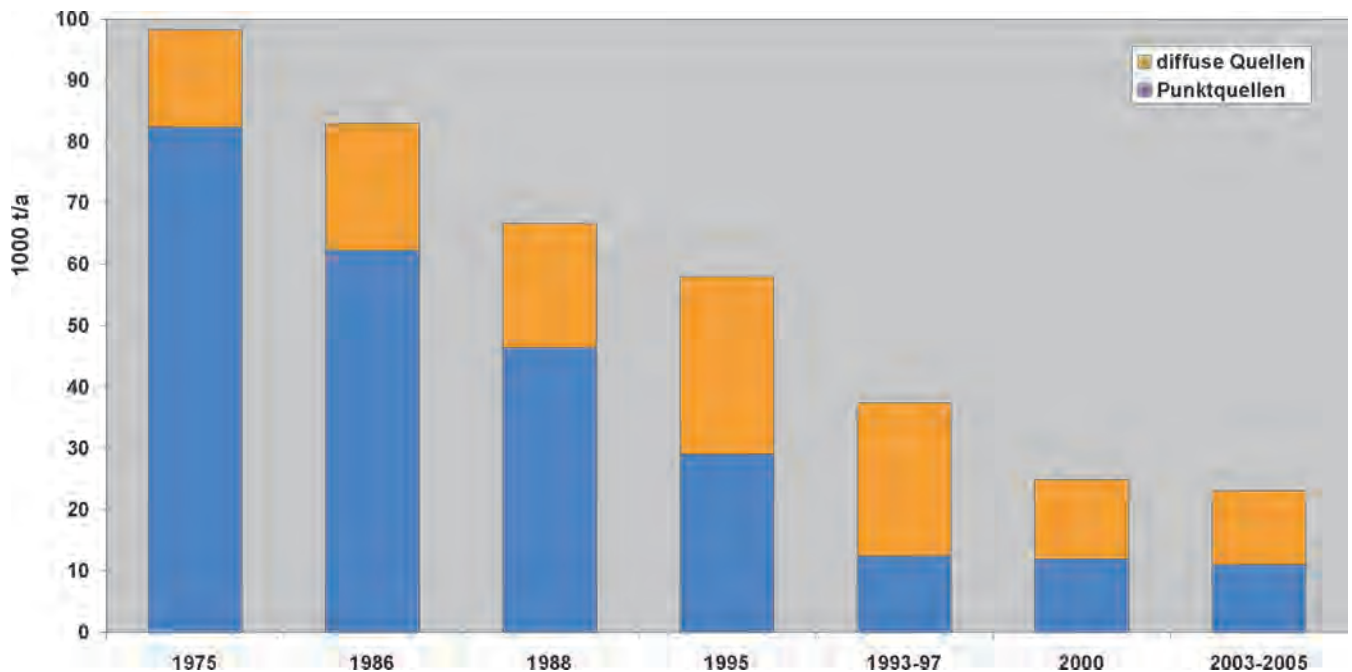
## 1 Hintergrund der Arbeiten und Zielsetzung

In die Fließgewässer Deutschlands werden derzeit jährlich ca. 23.000 t des Pflanzennährstoffs Phosphor (P) eingetragen (FUCHS et al. 2010). In Anbetracht der Tatsache, dass bereits 1 g Phosphat im Gewässer ausreicht, um ca. 100 g Biomasse, z.B. Algen, aufzubauen, bei deren aerobem Abbau dann 140 g Sauerstoff verbraucht werden, wird leicht verständlich, dass hohe P-Gehalte in vielen Oberflächengewässern ein ökologisches Problem darstellen können. Aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit des ortho-Phosphats tritt P in Binnengewässern häufig als Minimumfaktor auf. Das bedeutet, dass sich bereits geringe P-Einträge in hohem Maße eutrophierungsfördernd auswirken können.

Vor über 30 Jahren betragen die P-Einträge in die Fließgewässer Deutschlands ca. 100.000 t/a. Die starke Abnahme ist weitgehend auf verringerte Einträge aus Punktquellen zurückzuführen, was eine Folge verschärfter gesetzlicher Regelungen, z.B. der Phosphat-Höchstmengeverordnung und der Abwasserverordnung, ist. Als Folge der Abnahme punktueller Einleitungen hat sich zwar bundesweit der relative Anteil diffuser Quellen an der Gesamtbelastung von ca. 15 % (1975) auf ca. 50 % im Jahr 2005 erhöht, die absolute Höhe diffuser P-Einträge ist in diesem Zeitraum jedoch vergleichsweise weniger stark zurückgegangen (Abb. 1). Ungeachtet der vielerorts bereits ergriffenen Maßnahmen zur Reduktion diffuser P-Einträge sind für diese Entwicklung u.a. die bis in die 1980er Jahre weiter stark gestiegenen P-Gehalte der landwirtschaftlich genutzten Böden und die Zunahme der Bodenerosion, z.B. durch Vergrößerung der Ackerschläge, hauptverantwortlich (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998).

Vor dem Hintergrund der nachhaltigen Nutzung von Wasserressourcen zielt die EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000) darauf ab, für alle Gewässertypen den „guten Zustand“, u.a. in Bezug auf die Wasserqualität, zu erreichen (Art. 1 u. 4). Dies erfordert die Aufstellung und Fortschreibung detaillierter Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme für Flusseinzugsgebiete. In diesem Zusammenhang ist auch die Anwendung von Modellen notwendig, die den Nährstoffeintrag flächen- und pfaddifferenziert abbilden und mit vorhandenen Daten länderübergreifend konsistent anwendbar sind.

Wie die Bestandsaufnahme nach EG-WRRL gezeigt hat (HMUELV 2004), stellen neben Gewässerstrukturdefiziten hohe Nährstoffeinträge und ihre Folgen auch in vielen hessischen Oberflächengewässern nach wie vor eine signifikante Belastung dar. Circa 40 % der Oberflächenwasserkörper können den guten Zustand nach Beurteilung der Chemie nicht oder möglicherweise nicht erreichen. Aufgrund der Belastungssituation eutrophierungsgefährdeter Binnengewässer muss in Hessen die Reduzierung der Nährstoffeinträge vorrangig bei den Phosphoreinträgen ansetzen. Die Durchführung der Pilotprojekte „Emsbach“, „Modau“ und „Lahn“ hat u.a. ergeben, dass die Bedeutung diffuser und punktueller Quellen von P-Einträgen je nach Flussgebiet stark variieren kann. Stickstoffeinträge, v.a. aus der Landwirtschaft, hingegen spielen für Oberflächengewässer eine untergeordnete Rolle, sie sind allerdings in erheblichem Maß für den teilweise schlechten Grundwasserzustand verantwortlich (HMUELV 2004). Im Bundesland Hessen leben ca. 6,1 Millionen Einwohner auf einer Fläche von 21.115 km<sup>2</sup>. Damit ergibt sich eine mittlere Bevölkerungsdichte von 290 Ew./km<sup>2</sup>, die je nach Gemeinde zwischen 23 und 9.300 Ew./km<sup>2</sup> schwankt. Die Landnutzung erfolgt

**Abbildung 1**

Einträge von Gesamt-P in die Oberflächengewässer Deutschlands (Quelle der Einträge: BERNHARDT 1978, BMU 2001, DEUTSCHER BUNDESTAG 2004, FIRK & GEGENMANTEL 1986, FUCHS et al. 2010, UBA 2000)

*Inputs of total-P into surface waters in Germany*

zu 26 % als Acker, zu 19 % als Dauergrünland und zu 41 % als Wald. Dauerkulturen, v.a. Weinbau, machen insgesamt weniger als 1 % der Fläche aus, können aber, z.B. im Rheingau, die Landnutzung subregional dominieren. Circa 8 % Hessens sind (teil-) versiegelt. Acker- und Gemüseanbau finden zu 25 % in ebenen Lagen statt, weitere 73 % der Anbaufläche sind bis maximal 10° geneigt. Höhere Hangneigungen finden sich darüber hinaus lediglich im Weinbau. Aus dieser kurzen Charakterisierung wird ersichtlich, dass in Hessen P-Einträge räumlich stark differenziert zu betrachten sind, da die naturräumlichen und geographischen Disparitäten sehr ausgeprägt sind.

Vorhandene Studien, die den Wasserhaushalt und P-Eintrag in Hessen behandeln, stammen u.a. von HOFFMANN (1974), BEHRENDT et al. (1999), RODE (1995), GRUNWALD (1997), HAVERKAMP (2000), SÜSSMANN (1980), PETER (1988), GÖTTLICHER-GÖBEL (1987), ERPENBECK (1987), MOLLENHAUER (1987) und FUCHS et al. (2010). Die dabei erzielten Ergebnisse basieren bei BEHRENDT et al. (1999) und FUCHS et al. (2010) auf Modellierungen mit MONERIS, bei RODE (1995), GRUNWALD (1997) und HAVERKAMP (2000) auf Weiterentwicklung des Modells AGNPS bzw. SWAT und bei den übrigen Arbeiten auf Messungen im Gelände und deren Auswertungen. Im Hinblick auf eine Verwendbarkeit für die vorliegende Fragestellung muss jedoch festgestellt werden, dass alle diese Arbeiten mit anderer, individueller Zielstellung und Schwerpunktsetzung durchgeführt wurden und auf älteren Daten basieren. Im Hinblick auf die o.g. Problemstellung ergeben sich Nachteile entweder durch die Fokussierung auf einzelne Flussgebiete oder durch die Beschränkung auf spezielle Aspekte zum P-Eintrag über einzelne Pfade in ausgewählten Teilregionen. Eine auf das gesamte Bundesland Hessen ausgerichtete, flächendifferenzierte Analyse des diffusen und punktuellen Phosphoreintrags über verschiedene Pfade unter Verwendung aktueller, hoch aufgelöster Eingangsdaten

(20 x 20 m<sup>2</sup>) existiert bislang nicht. Daher wurde das Forschungszentrum Jülich (FZJ) vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) beauftragt, eine modellgestützte flächendifferenzierte Analyse signifikanter Phosphoreinträge aus diffusen und punktuellen Quellen in die hessischen Oberflächengewässer durchzuführen. Dabei wurden folgende Eintragspfade berücksichtigt: Dränagen, grundwasserbürtiger Abfluss, Erosion, Abschwemmung, kommunale Kläranlagen, industrielle Direktleitungen, Trennkanalisation und Mischwasserentlastung. Zur Quantifizierung der P-Einträge soll das von TETZLAFF (2006) entwickelte P-Modell MEPhos eingesetzt werden. Das folgende Kapitel geht näher auf das verwendete Modell MEPhos ein.

## 2 Das Modell MEPhos und benötigte Eingangsdaten

MEPhos beinhaltet einen konzeptionellen flächendifferenzierten Emissionsansatz zur Ermittlung mehrjähriger mittlerer Einträge von Gesamt-P und ortho-P über die Eintragspfade Dränagen, grundwasserbürtiger Abfluss, Erosion, Abschwemmung, kommunale Kläranlagen, industrielle Direktleitungen, Trennkanalisation und Mischwasserentlastung. Das Modell ist auf heterogene meso- und makroskalige Untersuchungsgebiete anwendbar, wobei in Länder- und Bundesbehörden vorhandene Datengrundlagen als Eingangsdaten ausreichen. Gesonderte Kartierungen sind nicht erforderlich. Mit gemessenen Gewässergütedaten ist das Modell kalibrierbar und validierbar. Die flächendifferenzierte Modellierung mit MEPhos auf Rasterbasis ermöglicht die Ausweisung räumlicher Belastungsschwerpunkte („Hot Spots“) innerhalb von Teileinzugsgebieten, für die zielgerichtet effiziente und ortsbezogene Reduktionsmaßnahmen vorgeschlagen werden können. Ausführlich ist das Modell MEPhos in TETZLAFF (2006) und TETZLAFF et al. (2009a) beschrieben. Der Grad räumlicher Differenzierung von Modellergebnissen hängt

**Tabelle 1**  
Für die Modellierung des Wasserhaushalts und des P-Eintrags in Hessen verwendete Datengrundlagen.  
*Input data used in Hesse for water-balance and phosphorus-inputs modelling.*

Datengrundlage	Quelle
Landnutzung	InVeKoS 2004–2006, ALK F021, Weinbau-Kataster, ATKIS DLM 25 für nicht-landwirtschaftliche Flächen
Bodendaten (Parameter Bodentyp, Bodenart, Flurabstand, Staunässe, pflanzenverfügbare Bodenwassermenge, Tongehalte)	Hessische Bodenkarte BFD 50 1:50.000 (HLUG)
K-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung	BFD 50, kf001, k_alk 42, ALB-Folie 22
R-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung	HLUG-Daten basierend auf DWD-Daten
C-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung	HLUG-Daten basierend auf Kulturarten aus InVeKoS 2004–2006, ALK F021, Weinbau-Kataster
LS-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung	Algorithmus nach MOORE & WILSON (1992) auf Basis DRM20 und unter Berücksichtigung der Verkehrswege aus DLM 25
Digitales Geländemodell	DRM 20 (HLUG)
Kläranlagen und industrielle Direkteinleiter (Standort, mittlere Jahresfracht P-ges)	Daten aus HAA und WALIS
Niederschläge 1971–2000	HLUG-Daten bzw. DWD
Potenzielle Verdunstung 1971–2000	HLUG-Daten bzw. DWD
Hydraulische Durchlässigkeit des Festgesteins	Hydrogeologische Übersichtskarte HÜK 200
Gedränzte landwirtschaftliche Nutzfläche	Verfahren nach TETZLAFF et al. (2008a)
Naturschutzgebiete	ATKIS DLM 25
Gemarkungen	HLUG-Daten
Oberflächenwasserkörper	HLUG-Daten
Gewässernetz	ATKIS DLM 25, HLUG-Daten
Abflussdaten in täglicher Auflösung	HLUG-Daten
Gewässergüte (Gesamt-P, ortho-P)	HLUG-Daten
Grundwassergüte (Gesamt-P, ortho-P)	HLUG-Daten

direkt von der Datenlage ab (Tab. 1). Diffuse Einträge werden auf Rasterbasis flächendifferenziert modelliert. P-Einträge aus kommunalen Kläranlagen und aus industriellen Direkteinleitern werden für jede Anlage einzeln ermittelt und gehen als Punktdaten in das Modell ein. Emissionen aus Mischwasserentlastungen und Trennkanalisation werden integrativ für Teileinzugsgebiete bzw. Oberflächenwasserkörper simuliert, da die benötigten Eingangsdaten i.d.R. räumlich nicht differenzierter zur Verfügung stehen.

Tabelle 1 zeigt die für die Modellierung und Validierung von Wasserhaushalt und Phosphoreintrag verwendeten Datengrundlagen. Herangezogen wurden diejenigen Datensätze, die ohne weitere Vorarbeiten bei den zuständigen Stellen bereits vorhanden waren und die größte Aktualität und Genauigkeit aufwiesen.

**2.1 Modellierung des mittleren P-Eintrags über Erosion**

Diffuse P-Einträge über Erosion werden auf Basis eines Ansatzes der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung ABAG (SCHWERTMANN et al. 1990) ermittelt, der um Methoden der digitalen Reliefanalyse ergänzt wird, um den Sedimenteintrag ableiten zu können. In TETZLAFF et al. (2011) ist dargelegt, wie reliefbedingte Tiefenlinien aus hoch aufgelösten Digitalen Geländemodellen abgeleitet werden und hydraulisch an das Vorfluternetz angeschlossene Ackerflächen ermittelt werden. Lediglich diese Flächen werden als Sedimentliefergebiete angesehen, und nur von ihnen kann eine Beeinträchtigung der Qualität von Oberflächengewässern ausgehen.

$$L_E = ((0.141 \cdot Pr_s - 1.48) \cdot K \cdot \left(1 + 0.4 \cdot \left(\frac{A}{22.13}\right)^{0.4} \cdot \left(\frac{\sin S}{0.0896}\right)^{1.3}\right) \cdot C \cdot P) \cdot SDR \cdot 0.812 \cdot ER \quad (1)$$

- $L_E$  = Mittlerer jährlicher P-Eintrag über Erosion [kg/(ha·a)]
- $Pr_s$  = Mittlere jährliche Niederschlagshöhe des hydrologischen Sommerhalbjahrs [mm/a]
- $K$  = Bodenerodierbarkeitsfaktor [t·h/(ha·N)]
- $A$  = Spezifische Einzugsgebietsfläche [m<sup>2</sup>/m]
- $S$  = Hangneigung [°]
- $C$  = Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor [-]
- $P$  = Erosionsschutzfaktor [-]
- $SDR$  = Sediment-Eintragsverhältnis [%/100]
- $ER$  = Anreicherungsfaktor [-]

Die Berechnung der mittleren Bodenabtragsgefährdung sowie des P-Eintrags über Erosion nach Gleichung 1 erfordert die Definition einer Gebietskulisse. Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, setzt sich die landwirtschaftliche Nutzfläche aus unterschiedlichen, räumlich hoch aufgelösten Datenquellen zusammen. Sämtliche 130 Kulturarten und Bodenbedeckungstypen in den genannten Datengrundlagen wurden auf ihre potenzielle Erosionsgefährdung überprüft. Aus der Verbreitung der als erosionsgefährdet angesehenen Kulturarten und Bodenbedeckungen ergibt sich die potenziell erosionsgefährdete Anbaufläche, die als Gebietskulisse für die Modellierung dient (ca. 19 % der Landesfläche Hessens). Außerdem wird der C-Faktor auf Basis der in den



InVeKoS-Daten genannten detaillierten Kulturarten unter Annahme konventioneller Bewirtschaftung berechnet. Da die InVeKoS-Daten für 2004 teilweise lückenhaft sind, werden die C-Faktoren auf Gemarkungsebene flächengewichtet gemittelt. Die sich ergebenden C-Faktoren liegen zwischen 0,03 und 0,35 mit einem Mittelwert von 0,13. Angesichts der Dominanz an Winterweizen (ca. 20 %) unter den in Hessen angebauten Kulturen erscheint dieser Wert plausibel. Die verwendeten Daten zur Bodenerodibilität (K-Faktor) werden der Bodendatenbank des HLUg entnommen. Diese Daten basieren vorwiegend auf Bodenschätzungs-Informationen und stehen somit ebenfalls auf Parzellenebene zur Verfügung. Die K-Faktoren in Hessen schwanken zwischen 0,01 und 0,63 bei einem Mittelwert von 0,4. Die Berechnung der Regenerosivität in Gleichung 2 stützt sich auf MÜLLER (2004) unter Verwendung von Daten des mittleren Sommerniederschlags 1971–2000. Trotz der Fokussierung auf Niederschläge des Sommerhalbjahrs ist der Hauptkritikpunkt an der Verteilung des R-Faktors in Hessen nach wie vor die Beschränkung hoher Werte auf Regionen mit hohen Niederschlagssummen. Diese Regionen sind in der Regel in den Hochlagen der Mittelgebirge bei dominierender Waldnutzung zu finden. Das Auftreten von Starkniederschlägen im Flachland, z.B. als Folge konvektiver sommerlicher Starkregenereignisse, wird bei dieser Methodik nicht ausreichend räumlich differenziert wiedergegeben. Daher wurden mehrere Varianten des R-Faktors gerechnet, u.a. mit Formeln, die für Hessen entwickelt wurden (MOLLENHAUER et al. 1990). Diese Vergleiche zeigen jedoch, dass die Unterschiede in den Ergebnissen verschiedener Berechnungsformeln bezogen auf Hessen vernachlässigbar gering sind. Insgesamt bewegen sich die R-Faktoren in Hessen nach der beschriebenen Methode zwischen 41 und 75 bei einem Mittelwert von 50.

Die Hangneigung und untergeordnet auch die erosive Hanglänge zählen zu den sehr sensitiven Eingangsgrößen der ABAG (AUERSWALD 1987, TETZLAFF et al. 2011). Daher wurde die Erosionsmodellierung mit einer Rasterweite von 20x20 m<sup>2</sup> durchgeführt, die der originalen Auflösung des für ganz Hessen verfügbaren Digitalen Geländemodells DRM20 entspricht. Lineare Fließbarrieren (Ackerraine, landwirtschaftliche Wege, Bahndämme etc.) wurden bei der Ermittlung des LS-Faktors umfassend berücksichtigt. Der mittlere LS-Faktor in Hessen liegt bei 1,7. Deutlich niedrigere Werte von < 1 werden für die gering geneigten Regionen des Hessischen Rieds, der Wetterau sowie der hessischen Senke ermittelt. Sehr hohe LS-Faktoren von über 5 treten lediglich vereinzelt auf. Die starke Terrassierung und der Wegebau im steilen Weinanbaugebiet des Rheingaus sind ursächlich für das großräumige Auftreten mittlerer LS-Faktoren.

$$SDR_{sb} = \frac{R_{sd} \cdot K_{sd} \cdot LS_{sd} \cdot C_{sd} \cdot P_{sd}}{R_{ep} \cdot K_{ep} \cdot LS_{ep} \cdot C_{ep} \cdot P_{ep}} \quad [\% / 100] \quad (2)$$

$SDR_{sb}$  = Sedimenteintragsverhältnis in einem Oberflächenwasserkörper sb [%/100]

$R_{sd} \dots P_{sd}$  = ABAG-Faktoren für Rasterzellen von Sedimentliefergebieten innerhalb eines Oberflächenwasserkörpers sb

$R_{ep} \dots P_{ep}$  = ABAG-Faktoren für Rasterzellen der gesamten Erosions-Gebietskulisse eines Oberflächenwasserkörpers sb

Das Sedimenteintragsverhältnis wird aus dem Quotienten des Bodenabtrags von Sedimentlieferflächen zum Bodenabtrag aller Flächen der Gebietskulisse in einem Oberflächenwasserkörper bestimmt (Gl. 2). Über die Ermittlung des Bodenabtrags und Sedimenteintrags hinaus wird der partikuläre P-Eintrag außerdem durch den P-Gehalt des Oberbodens von Erosionsflächen sowie die P-Anreicherung während des Abtragsvorgangs gesteuert. Hierfür müssen aufgrund der Datenlage in Hessen Pauschalwerte angenommen werden: Ergebnisse zu mehr als 160 Bodenanalysen in Hessen zeigen einen Median von 812 mg Gesamt-P/kg Boden. In Ermangelung weiterer Bodendaten wurde dieser Oberbodengehalt einheitlich für Hessen angesetzt. Die Ergebnisse von 160 Bodenanalysen können die P-Gehalte in den Oberböden des gesamten Bundeslands Hessen lediglich näherungsweise beschreiben. Durch die Beprobung landwirtschaftlicher Flächen, u.a. mit dem Ziel der Düngeberatung, liegen zwar grundsätzlich landesweite Ergebnisse zu P-Gehalten in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung vor. Diese P-Gehalte wurden jedoch nicht als Gesamtgehalt analytisch bestimmt, sondern es wurden v.a. Laktatauszüge gewonnen, deren Ergebnisse sich nicht in Gesamtgehalte umrechnen lassen. Eine Nutzung dieser Analyseergebnisse wird auch dadurch erschwert, dass diese Daten nicht öffentlich zugänglich sind, insbesondere in Regionen mit hohem Tierbesatz.

Als Anreicherungsfaktor ER wird für Lössgebiete in Anlehnung an SOMMER & MURSCHER (1999) 1 und für alle anderen Regionen 1,86 verwendet, was sich in langjährigen Geländeuntersuchungen von WILKE & SCHAUB (1996) als belastbare Größe erwiesen hat.

## 2.2 Modellierung des mittleren P-Eintrags über Kläranlagen

Im Rahmen der behördlichen Einleiterüberwachung unterliegen kommunale Kläranlagen und industrielle Direkteinleiter einer regelmäßigen Kontrolle, bei der u.a. die P-Konzentrationen im Ablauf sowie die eingeleiteten Wassermengen gemessen werden, da diese Daten die Grundlage für die Erhebung der Abwasserabgabe bilden. Die Überwachungshäufigkeit und damit die Anzahl der Messwerte hängen u.a. von der Anlagengröße ab. Das Instrument der Abwasserabgabe hat dazu geführt, dass bei den Überwachungsbehörden der Länder langjährige und zeitlich hoch aufgelöste Datenreihen v.a. zu kommunalen Kläranlagen vorhanden sind, die zur Berechnung des P-Eintrags genutzt werden können. Daten zu P-Einträgen aus hessischen Kläranlagen liegen im Fachprogramm Hessische Abwasseranlagen (HAA) vor.

Aus den Überwachungsdaten wird die zum Zeitpunkt der Probenahme bestimmte Abwassermenge auf ein Jahr hochgerechnet und dann mit der gemessenen P-Konzentration zu einer Einzelfracht multipliziert. Die mittlere Jahresfracht errechnet sich aus dem Mittelwert aller aus Einzelmessungen bestimmten Frachten (Gl. 3).

$$F_{KA} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (C_{iPges, Abl} \cdot AWM) \quad (3)$$

$F_{KA}$  = mittlerer jährlicher P-Eintrag aus kommunaler Direkteinleitung [t/a]

AWM = mittlere Jahresabwassermenge [m<sup>3</sup>/a]

$C_{iPges, Abl}$  = mittlere Konzentration von P-Gesamt im Ablauf der Anlage zum Zeitpunkt der Probenahme [mg/l]

n = Zahl der Messungen i pro Jahr

### 2.3 Ansatz zur Quantifizierung des mittleren P-Eintrags über Mischwasserentlastung und Trennkanalisation

Mittlere jährliche P-Einträge über Mischwasserentlastung und Trennkanalisation müssen aufgrund der Datenlage integrativ für Oberflächenwasserkörper modelliert werden, da die benötigten Eingangsdaten wie Speichervolumen, Typ und Standort der Sonderbauwerke, angeschlossene Versiegelungsfläche etc. in Hessen nicht bauwerksspezifisch zur Verfügung stehen. Dabei kommt ein Ansatz in Anlehnung an ATV A128 (1992) zur Anwendung (Gl. 4).

$$L_{CSO} = V_{Qr,CS} \cdot \left( \left( \frac{4000 + 25 \cdot qr}{0.5551 + qr} \right) \cdot \left( \frac{V_{CS}}{A_{red,CS} + \frac{36.8 + 13.5 \cdot qr}{0.5 + qr}} \right) - 6 \right) \cdot C_{P,CS} \quad (4)$$

- $L_{CSO}$  = entlastete Jahresfracht aus Mischwasserüberläufen [t/a]
- $V_{Qr,CS}$  = jährliche Regenabflusssumme im Mischsystem [m<sup>3</sup>/a]
- $qr$  = Regenabflussspende zur Kläranlage [l/(s·km<sup>2</sup>)]
- $C_{P,CS}$  = Konzentration Gesamt-P im entlasteten Mischwasser [mg/l]
- $V_{CS}$  = kumuliertes Speichervolumen der Regenentlastungsanlagen im Einzugsgebiet
- $A_{red,CS}$  = kumulierte versiegelte Fläche mit Anschluss an Regenentlastungsbauwerke des Mischkanalsystems

Da für Hessen derzeit keine regional differenzierten Daten zum Speichervolumen der Regenentlastungs-Bauwerke verfügbar sind, muss in Abstimmung mit den Fachleuten des Hessischen Landesamts für Umwelt und Geologie ein Pauschalwert von 35 % für die Entlastungsrate angenommen werden. Insgesamt variiert diese in Hessen zwischen ca. 25 und 75 %, ohne dass sich diese Angaben räumlich eindeutig zuordnen ließen. Nach Gleichung 4 muss zur Berechnung des mittleren P-Eintrags auch die mittlere Gesamt-P-Konzentration im Mischwasser bei Starkregen bekannt sein. Eine Literaturrecherche zeigt, dass die gemessenen Konzentrationen stark schwanken (Tab. 2). Hierfür ursächlich ist neben den Schwierigkeiten bei der Probenahme von entlastetem Mischwasser auch das unterschiedliche Alter der Untersuchungen. Da für Hessen keine Konzentrationshöhe durch Kalibrierung bestimmt werden kann und den Angaben von BROMBACH & FUCHS (2003) bzw. BROMBACH & MICHELBAACH (1998) aufgrund ihrer breiteren Datenbasis mehr Gewicht beigemessen wird, wird eine mittlere Konzentration von 1,5 mg Gesamt-P/l angesetzt.

**Tabelle 2**  
Literatur-Referenzwerte zur Höhe der Konzentration von Gesamt-P in entlastetem Mischwasser  
*Published reference values of total-P concentrations in combined-sewer overflows*

Quelle	Konzentration [mg/l]
BROMBACH & FUCHS (2003)	1
MUNLV (2003)	2
BROMBACH & MICHELBAACH (1998)	2,1
HAMM et al. (1991)	4–6

### 3 Modellergebnisse zu ausgewählten Eintragspfaden

Nachfolgend werden ausgewählte Ergebnisse zum P-Eintrag über die Pfade Erosion, kommunale Kläranlagen und Mischwasserentlastung dargestellt und diskutiert.

#### 3.1 Mittlerer P-Eintrag über Erosion

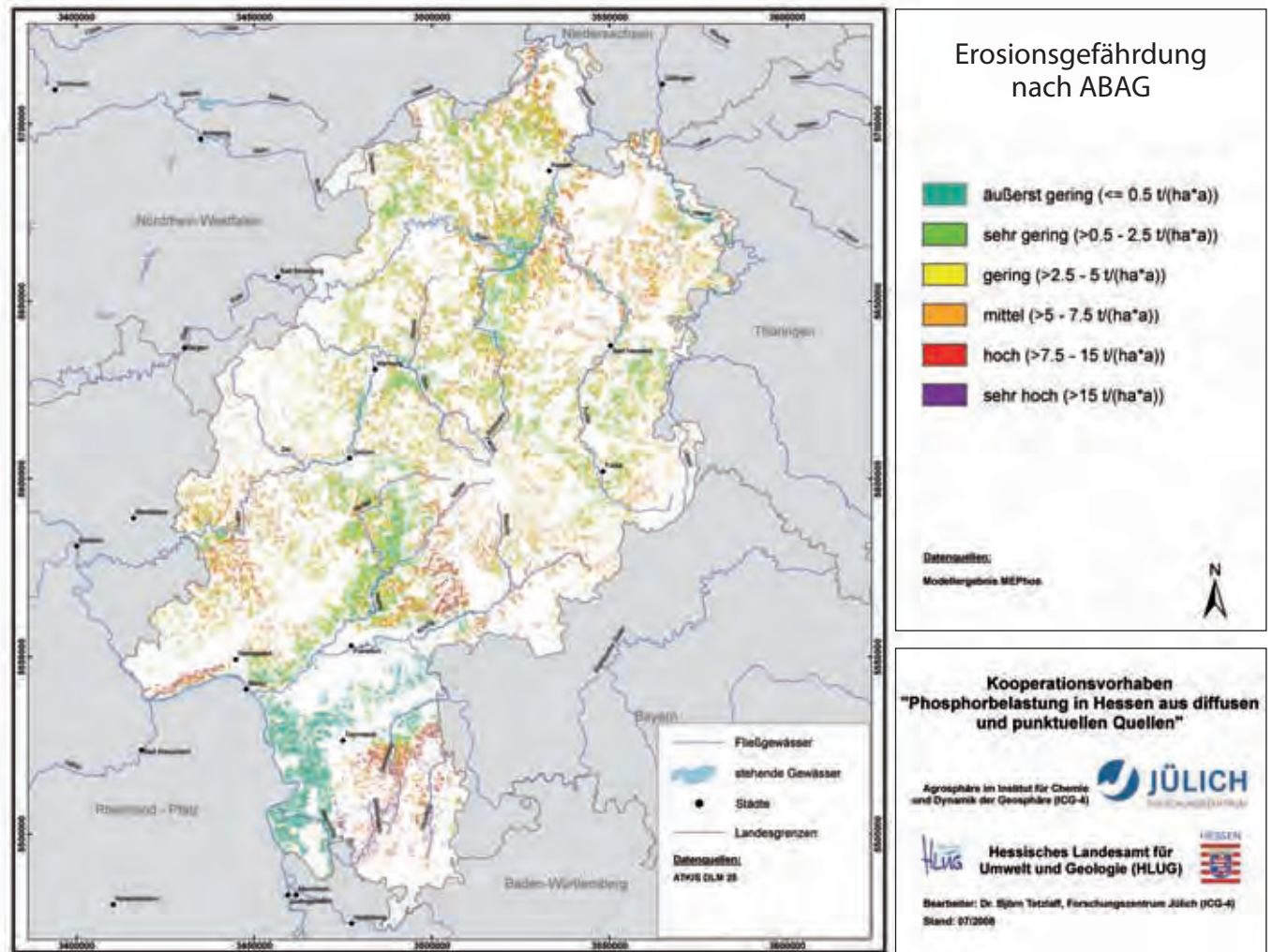
Auf Grundlage der Faktoren R, K, C und LS wird die Erosionsgefährdung nach Gleichung 1 ermittelt. Das Ergebnis ist in Abbildung 2 zu sehen. Der modellierte Bodenabtrag schwankt zwischen weniger als 0,5 und mehr als 15 t/(ha·a). Der Mittelwert liegt bei etwa 4,3 t/(ha·a). Die Erosionsschwerpunkte lassen sich an der Löss-Verbreitung festmachen: Rheingau, Umrandung des Odenwalds, Teilen der Wetterau sowie das Limburger Becken. Hier können die langjährigen mittleren Bodenabträge auch regional 7,5–15 t/(ha·a) betragen. Insgesamt machen die Bereiche > 7,5 t/(ha·a) ca. 16 % der erosionsgefährdeten Anbaufläche aus (Tab. 3). Für den Großteil Hessens weisen die Modellergebnisse äußerst geringe und sehr geringe Abtragsgefährdungen aus (zusammen ca. 47 %), siehe Abbildung 2 und Tabelle 3.

Für die 450 Oberflächenwasserkörper ergeben sich Sedimenteinträge, die zwischen 0,5 und 78 % des gesamten Bodenerosionspotenzials eines Einzugsgebiets ausmachen. Der Mittelwert des Sedimenteintragsverhältnisses liegt bei 18 %. Da sich Bodenabtrag und Sedimenteintrag nicht ohne großen experimentellen Aufwand messen lassen, liegen keine Messwerte vor, um die für Hessen modellierten Ergebnisse validieren zu können. Daher werden Vergleichswerte aus der Literatur herangezogen, um die Modellergebnisse einschätzen zu können (Tab. 4). Die Literaturwerte bestätigen die Größenordnung der MEPhos-Ergebnisse in Höhe von ca. 4,3 t/(ha·a). Höhere Abträge werden für stärker reliefierte oder lössbedeckte Regionen angegeben, z.B. bei DUTTMANN (1999), BUTZ (2005), TETZLAFF et al. (2009b). Deutlich niedrigere Werte werden für noch größere Untersuchungsgebiete oder bei Berücksichtigung konservierender Anbauverfahren ermittelt (AUERSWALD 2006, PRASUHN et al. 1996, STUMPH & AUERSWALD 2006). Wie Tabelle 4 zeigt, stimmt die Größenordnung der mit MEPhos ermittelten Sedimenteintragsverhältnisse ebenfalls sehr gut mit Literaturangaben zu größeren, naturräumlich unterschiedlich ausgestatteten Untersuchungsgebieten überein.

Die langjährigen mittleren P-Einträge durch Erosion in Hessen betragen ca. 5 kg/(ha·a) bei einer Schwankungsbreite zwischen < 2 und > 10 kg/(ha·a). Der Gesamteintrag von P über Erosion beträgt ca. 477 t/a. Das Auftreten partikulärer P-Einträge zeichnet in Hessen diejenigen Teilregionen nach, in denen erhöhte Reliefenergie bzw. Löss auftreten. So treten überdurchschnittliche P-Einträge großräumiger im Limburger Becken, im Rheingau, in Teilen der Wetterau sowie in der hessischen Senke auf. In den Niederungsbereichen, u.a. Hessisches Ried, liegen die P-Einträge deutlich unter 2 kg/(ha·a). Abbildung 3 zeigt einen vergrößerten Kartenausschnitt, der die räumlich hoch aufgelösten Sedimentliefergebiete und Ergebnisse zum P-Eintrag über Erosion zeigt.

#### 3.2 Mittlerer P-Eintrag aus kommunalen Kläranlagen

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Einleitstellen und die anlagenspezifische Höhe des P-Eintrags aus Kläranlagen und Industrie. Insgesamt werden 724 kommunale Kläranlagen mit Jahres-



**Abbildung 2**  
Langjährige mittlere jährliche Erosionsgefährdung in Hessen für Parzellen mit Ackerbau oder Sonderkultur  
*Long-term mean annual erosion potential of arable land or specialised crops in Hesse*

**Tabelle 3**  
Sedimentabtrag von Anbauflächen und -eintrag in die Oberflächengewässer nach Klassen  
*Classes of sediment delivery from arable land into surface waters*

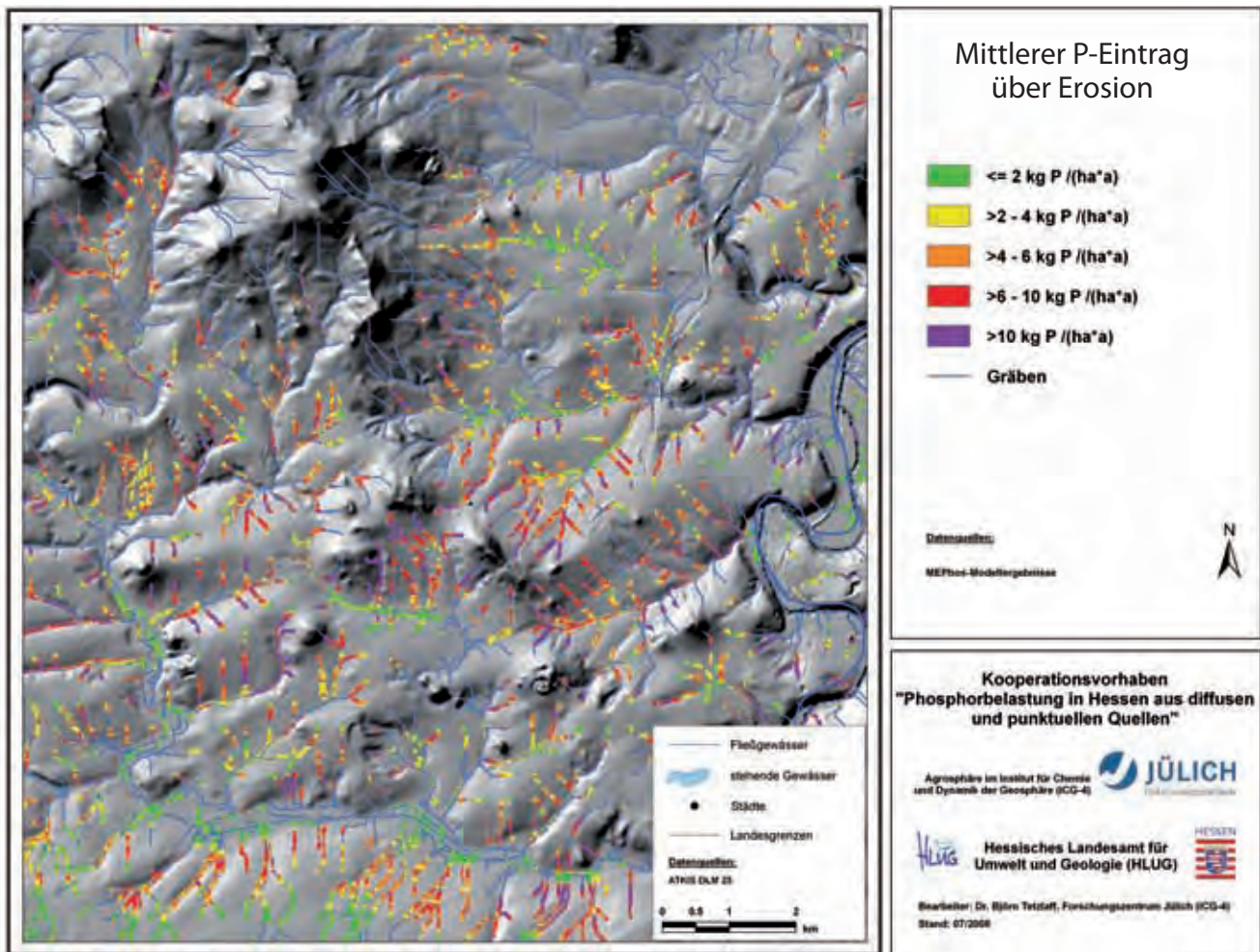
Sedimentabtrag bzw. -eintrag [t/(ha·a)]	Anteil an erosionsgefährdeter Anbaufläche [absolut km <sup>2</sup> ] / [%]	Anteil des potenziellen Sedimentabtrags [1000 t/a] / [%]	Anteil an Sedimentlieferfläche [absolut km <sup>2</sup> ] / [%]	Anteil des P-Eintrags [t/a] / [%]
$\leq 0,5$	641 / 16	11 / <1	150 / 19	4 / 1
$>0,5 - 2,5$	1258 / 31	185 / 11	233 / 30	50 / 10
$>2,5 - 5$	1023 / 25	370 / 21	179 / 23	98 / 21
$>5 - 7,5$	525 / 13	321 / 19	93 / 12	85 / 18
$>7,5 - 15$	503 / 12	513 / 30	90 / 12	139 / 29
$>15$	150 / 4	332 / 19	29 / 4	101 / 21
<b>SUMMEN</b>	<b>~4101 / 100</b>	<b>1732 / 100</b>	<b>~774 / 100</b>	<b>~477 / 100</b>

frachten zwischen  $< 0,01$  und ca. 70 t abgebildet. Der mittlere Eintrag pro Anlage beträgt 1,13 t/a, die Summe beläuft sich auf ca. 817 t/a. Kleine Anlagen mit vergleichsweise niedrigen P-Einträgen dominieren in Hessen (Abb. 4). Der P-Eintrag pro Anlage liegt bei 45 % aller Anlagen bei  $\leq 0,5 \text{ t/a}$ . Mit  $> 5 \text{ t/a}$  weit überdurchschnittliche P-Einträge aus Kläranlagen beschränken sich auf die Mittelzentren bzw. die Großstädte Frankfurt und Kassel.

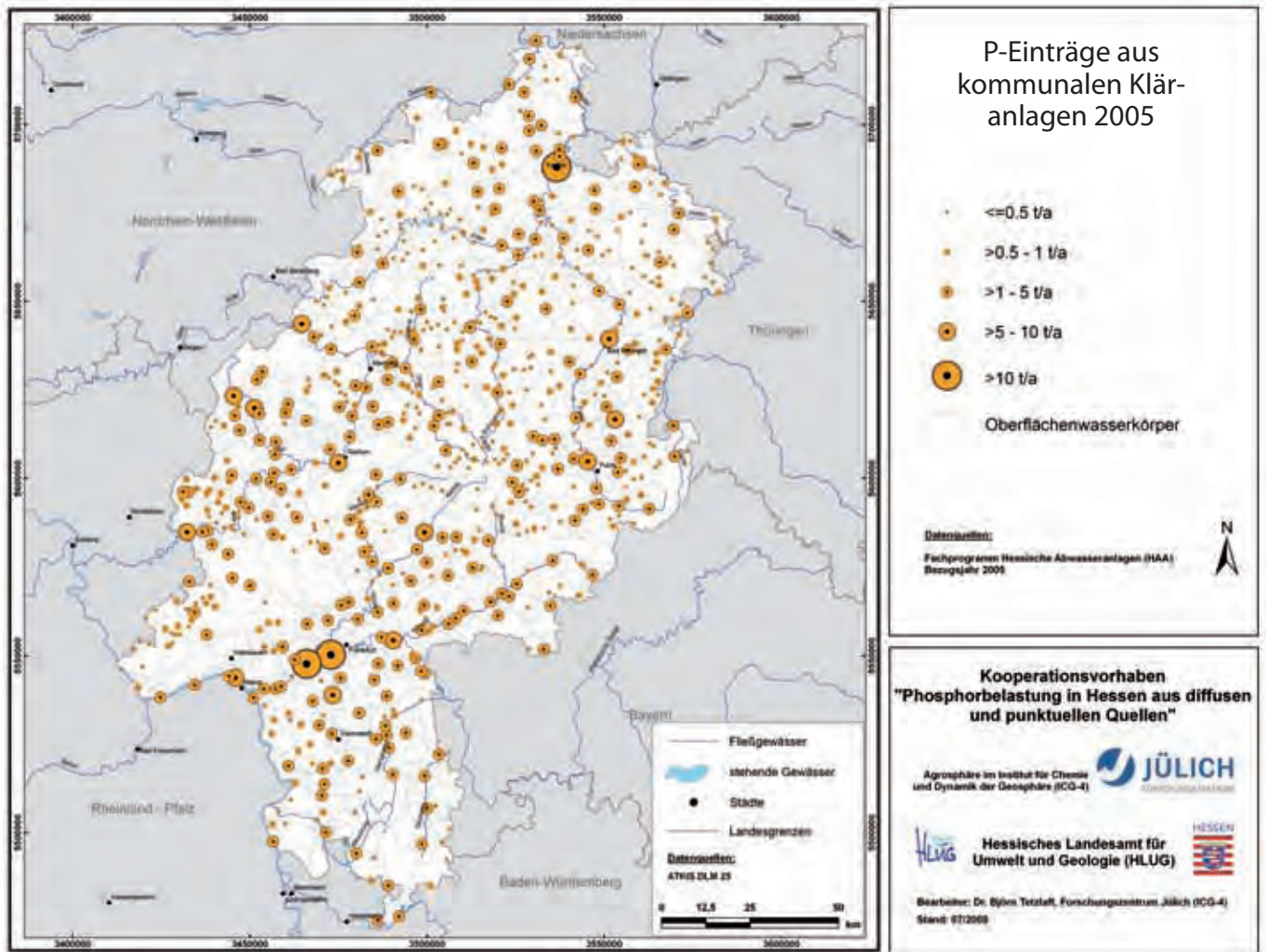
**3.3 Mittlerer P-Eintrag über Mischwasserentlastung**  
Abbildung 5 zeigt die MEPhos-Modellergebnisse des mehrjährigen mittleren P-Eintrags über Mischwasserentlastung. Der berechnete Eintrag schwankt zwischen weniger als 0,025 und mehr als 0,3 kg/(ha·a). Der Mittelwert liegt bei 0,12 kg/(ha·a), die Summe beläuft sich auf ca. 253 t/a. Entsprechend dem hohen Flächenanteil stark versiegelter Areale und der Niederschlags-

**Tabelle 4**  
Literaturwerte zu Bodenabtrag und Sedimenteintrags-Verhältnis für unterschiedlich ausgestattete Untersuchungsgebiete  
*Published reference values of soil losses and sediment-delivery ratios in different regions*

Landschaft	Bodenabtrag [t/(ha·a)]	Sedimenteintrags-verhältnis [%]	Quelle
Einzugsgebiet der Urfttalsperre, Eifel (374 km <sup>2</sup> )	6,5	19	TETZLAFF et al. (2009b)
Einzugsgebiete von Ems, Erft, Wupper, Ruhr und Sieg (25.000 km <sup>2</sup> )	3,9	3–29	TETZLAFF (2006)
Einzugsgebiet des Kraichbachs (160 km <sup>2</sup> )	5,6	12	BUTZ (2005)
Teilgebiet des südniedersächsischen Berg- und Hügellands (ca. 20 km <sup>2</sup> ) – Geländemessung	7,5	28	DUTTMANN (1999)
Teilgebiet des südniedersächsischen Berg- und Hügellands (ca. 20 km <sup>2</sup> ) – ABAG-Berechnung	10,5	28	DUTTMANN (1999)
Bodensee-Einzugsgebiet	3,3	30	PRASUHN et al. (1996)
Kanton Bern	–	20	PRASUHN & BRAUN (1994)
Berner Mittelland	–	10–20	MOSIMANN et al. (1991)
Bayern – unter Berücksichtigung von konservierender Bodenbearbeitung und mehrjährigen Fruchtfolgen	2,4	–	STUMPF & AUERSWALD (2006)
Deutschland („alte“ Bundesländer)	8,7	8	WERNER et al. (1991)
Deutschland gesamt	5,5	–	AUERSWALD (2006)
Deutschland gesamt	3,8	–	BEHRENDT et al. (1999)



**Abbildung 3**  
Sedimentliefergebiete und mittlere P-Einträge über Erosion in Hessen (Ausschnitt)  
*Sediment source-areas and mean annual P-inputs via erosion in Hesse (enlarged detail)*



**Abbildung 4**  
Mittlere Einträge von Gesamt-P aus kommunalen Kläranlagen in Hessen  
*Mean inputs of total-P from wastewater treatment plants in Hesse*

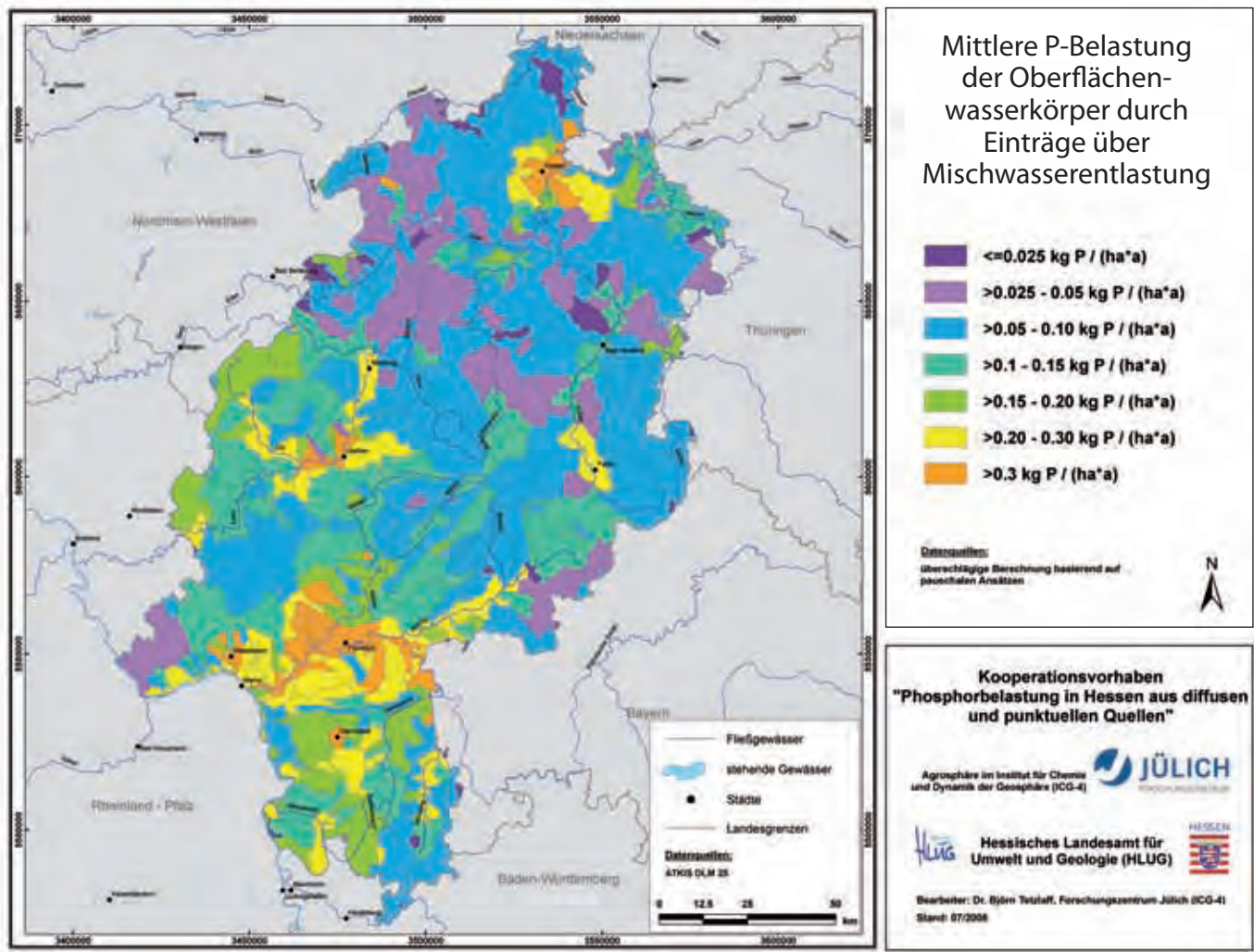
verteilung in Hessen finden sich weit überdurchschnittliche P-Einträge im Bereich der Großstädte Frankfurt, Darmstadt, Wiesbaden und Kassel (Abb. 5). Da die Modellergebnisse für einzelne Eintragspfade nicht validiert werden können, werden Literaturangaben zu vergleichbaren Gebieten herangezogen. Die mit  $> 0,3 \text{ kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$  hohen Einträge in den Ballungsräumen liegen in derselben Größenordnung wie die für die dicht besiedelten Flussgebiete Ruhr, Wupper, Rhein und Emscher in Nordrhein-Westfalen (MUNLV 2010). Schwach besiedelte und bewaldete Gebiete in Hessen, z.B. Rhön, Knüllwald oder Taunus, zeichnen sich durch P-Einträge um  $0,05$  bzw. zwischen  $0,05$  und  $0,1 \text{ kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$  aus. Dies korreliert ebenfalls mit den Angaben für naturräumlich vergleichbare Einzugsgebiete wie Sieg, Schwalm oder Kraichbach (BUTZ 2005, MUNLV 2010). Insofern kann die Größenordnung der berechneten Einträge bestätigt werden.

### 3.4 Gesamtergebnisse und Validierung

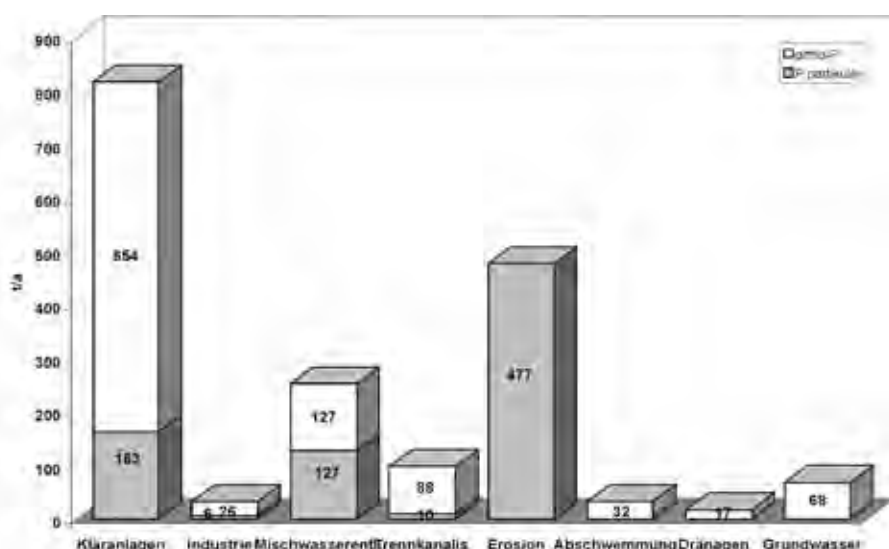
Mit dem Modell MEPHos wird für Hessen ein mehrjährig mittlerer P-Gesamteintrag von  $1.794 \text{ t/a}$  berechnet. Abbildung 6 zeigt, zu welchen Anteilen die einzelnen Eintragspfade am Gesamteintrag beteiligt sind. Die MEPHos-Modellergebnisse weisen für Gesamt-P ein relatives Verhältnis von punktuellen zu diffusen Quellen von  $67:33 \%$  aus. Kommunale Kläranlagen und erosionsbürtige

ge Einträge von landwirtschaftlichen Flächen dominieren als Verursacher (zusammen  $72 \%$ ). Dies erscheint vor dem Hintergrund einer Vielzahl kleiner Kläranlagen mit geringerer Reinigungsleistung (Abb. 4) und in Anbetracht der mit ca.  $20 \%$  der Landesfläche Hessens großen erosionsgefährdeten Anbaufläche (Abb. 2) durchaus plausibel. Urbane Einträge über Mischwasserentlastung und Trennkanalisation machen mit zusammen  $19 \%$  ( $351 \text{ t/a}$ ) ebenfalls einen nicht unerheblichen Anteil aus. Geogene P-Einträge über den grundwasserbürtigen Abfluss sind mit  $4 \%$  vergleichsweise gering. Die Pfade Industrielle Direkteinleitungen, Abschwemmung und Dränagen spielen für ganz Hessen quantitativ keine bedeutende Rolle (zusammen  $5 \%$ ).

Um festzustellen, inwieweit diese für ganz Hessen getroffenen Aussagen auch regional Gültigkeit besitzen, wird der Gesamteintrag räumlich differenzierter betrachtet. Abbildung 7 zeigt die Anteile der Eintragspfade am Gesamteintrag für Gruppen von Oberflächenwasserkörpern. Dabei zeigt sich, dass in fast allen der über  $40$  Gruppen von Oberflächenwasserkörpern die Eintragspfade Kläranlagen oder Erosion dominieren. Lediglich in zwei Gruppen von geringer räumlicher Ausdehnung („Eder in NRW“ und „Mainschlauch“) dominieren Grundwasser bzw. Mischwasserentlastung das Eintragsgeschehen. Auch bei genau-

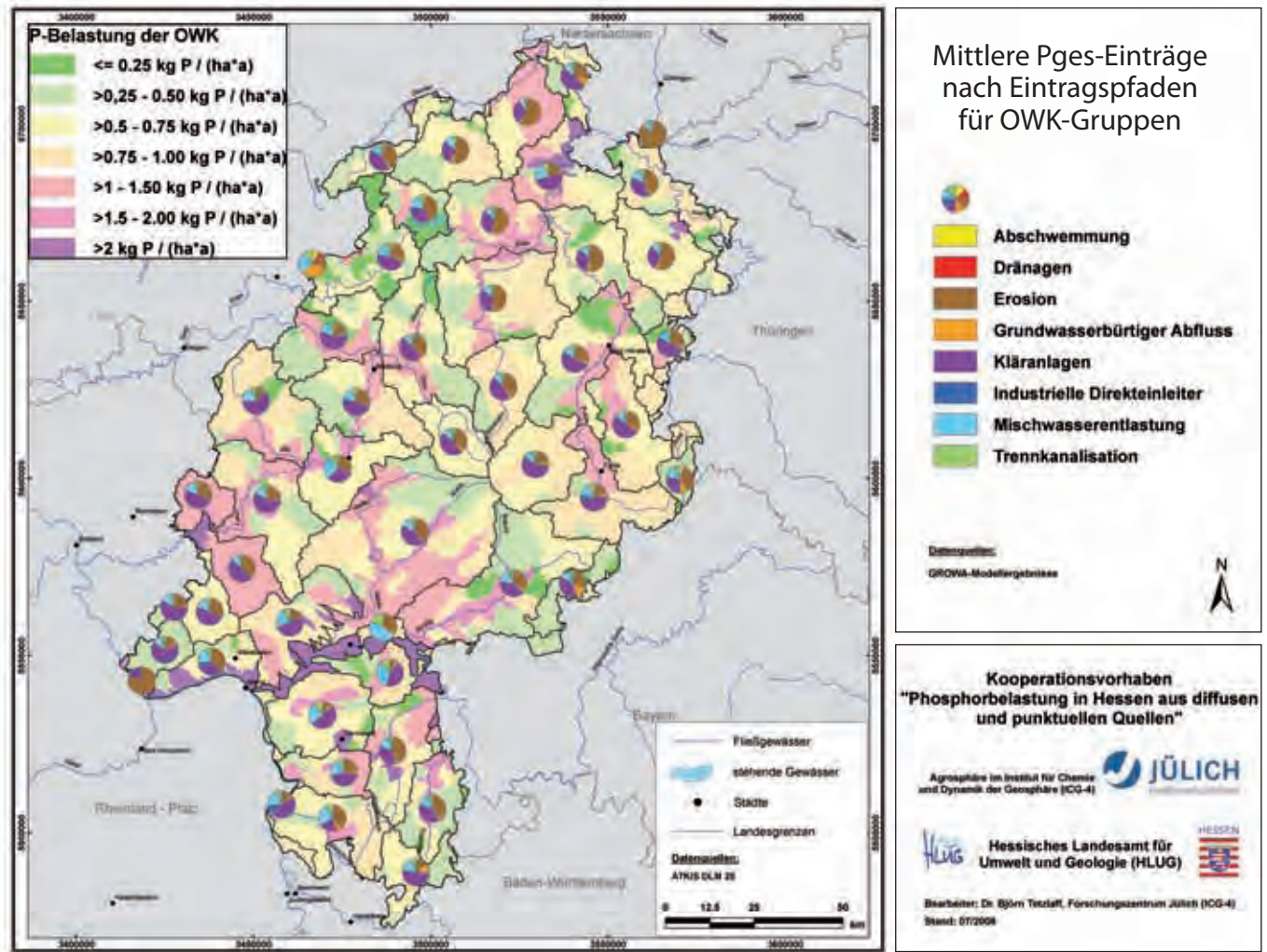


**Abbildung 5**  
Mittlere jährliche P-Einträge über Mischwasserentlastung  
*Mean annual P-inputs from combined-sewer overflows*



**Abbildung 6**  
Absolute mehrjährige mittlere P-Einträge in Hessen nach Pfaden  
*Modelled total mean annual P-inputs (ortho-P and particulate P) via different pathways*

erer Betrachtung auf räumlicher Basis der 450 Oberflächenwasserkörper (OWK) fällt die Dominanz der Eintragspfade Erosion und Kläranlagen in ganz Hessen auf (Abb. 8). Bezogen auf alle acht Eintragspfade stammt der maximale Eintrag in 203 von 450 OWK aus erosionsbürtigen Einträgen, in 162 von 450 OWK aus kommunalen Kläranlagen. Erosion dominiert dabei das Eintragsgeschehen im Rheingau, am Rande des Odenwalds, der Wetterau sowie in Nordhessen (Abb. 8). Die maximalen Einträge decken zwar das gesamte Spektrum an Größenklassen ab, gerade in Nord- und Mittelhessen werden jedoch vielfach erhebliche Einträge zwischen 5 und 15 t/a pro OWK berechnet. Maximale Einträge, die aus Kläranlagen stammen, sind v.a. in Ost- und Südhessen sowie zwischen Taunus und Westerwald von großer Bedeutung.



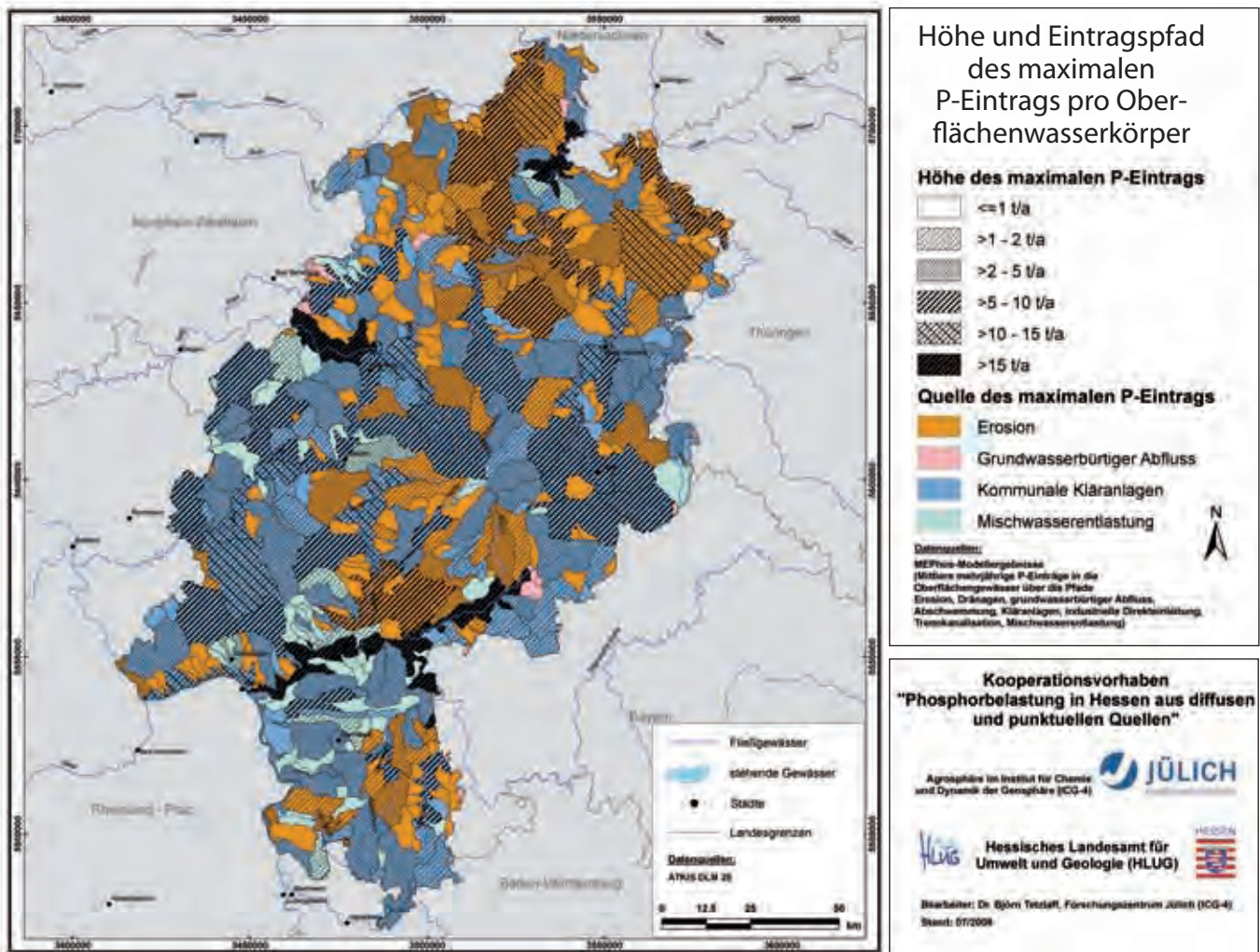
**Abbildung 7**  
 Mittlere jährliche Einträge von Gesamt-P, differenziert nach Eintragspfaden für Gruppen von Oberflächenwasserkörpern sowie Summe der flächenhaften Belastung mit Gesamt-P für Oberflächenwasserkörper  
*Mean annual inputs of total-P, aggregated for river sub-basins: diagrams show pathways, the map background-colours represent total-P loads per hectare*

Die gezeigten Karten bestätigen, dass der in Abbildung 6 dargestellte mittlere Zustand für die Regionen bzw. die Oberflächenwasserkörper Hessens verallgemeinert werden kann. In 81 % aller Oberflächenwasserkörper, die zusammen 92 % der hessischen Landesfläche ausmachen, stammt der maximale P-Eintrag aus kommunalen Kläranlagen oder aus Bodenerosion. In den verbleibenden 19 % der Oberflächenwasserkörper resultiert der maximale P-Eintrag aus der Mischwasserentlastung oder aus dem gegebenen P-Gehalt im Grundwasser. Ungeachtet dieser überragenden Dominanz von zwei Eintragspfaden können die relativen Anteile anderer Pfade in einzelnen Oberflächenwasserkörpern zwar deutlich über dem Mittelwert Hessens liegen, die modellierten absoluten Einträge über diese Pfade sind jedoch durchweg gering.

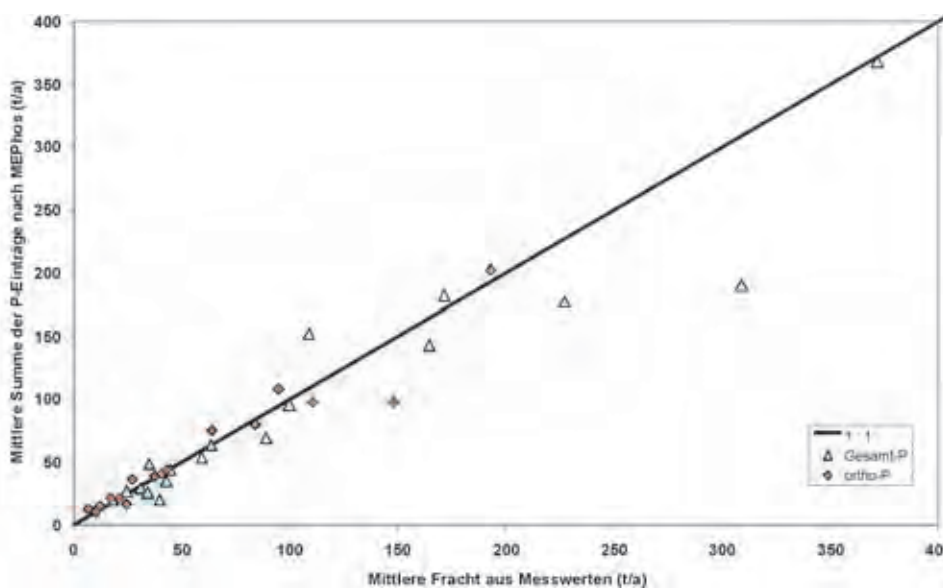
Zur Gesamtfracht von 1.794 t/a Gesamt-P kommen ca. 1.989 t/a hinzu, die von Oberliegern aus benachbarten Bundesländern stammen und mit grenzüberschreitenden Flüssen nach Hessen gelangen. Die das Bundesland Hessen verlassenden Fließgewässer transportieren somit eine jährliche Gesamtfracht von ca. 3.783 t Gesamt-P. Im Hinblick auf die Umweltziele der EG-WRRL werden die Modellergebnisse differenzierter betrachtet und

auch der Anteil an bioverfügbarem ortho-P an den Einträgen untersucht (Abb. 6). Damit ändert sich das Verhältnis von punktuellen zu diffusen Quellen auf 88:12 %, d.h., die Bedeutung von P-Einträgen insbesondere aus kommunalen Kläranlagen für die Eutrophierungsgefahr hessischer Oberflächengewässer wächst noch einmal deutlich im Vergleich zu den diffusen Einträgen.

Nachdem die Modellergebnisse sowohl in der Gesamtschau für Hessen als auch für die 450 Oberflächenwasserkörper dargestellt wurden, soll die Validität der Modellergebnisse überprüft werden. Hierzu werden für 18 Messstellen mittlere Jahresfrachten für Gesamt-P und ortho-P nach dem OSPAR-Verfahren auf Basis von Messdaten des HLUG ermittelt. Zur Validierung von Modellergebnissen für große Flussgebiete ist üblicherweise auch die Berechnung der Retention erforderlich, d.h. derjenigen Frachtanteile, die bei Betrachtung mehrjähriger mittlerer Verhältnisse das aquatische System dauerhaft durch Fixierung oder Entnahme verlassen. Dies betrifft v.a. die Sedimentation von Schwebstoff und partikulärem P in Stillwasserbereichen. Da diese Bedingungen in den hier betrachteten Mittelgebirgsflüssen kaum gegeben sind und in den Einzugsgebieten auch keine Tal-



**Abbildung 8**  
Quelle des maximalen P-Eintrags pro Oberflächenwasserkörper  
*Pathways of maximum P-input per river sub-basin*



**Abbildung 9**  
Validitätsüberprüfung der modellierten mittleren Einträge von Gesamt-P und ortho-P in Hessen  
*Validation of model outputs for mean loads of total-P and ortho-P in Hesse*

sperren vorhanden sind, wird in dieser Studie keine Retention betrachtet. Abbildung 9 zeigt die Validierung der Modellergebnisse anhand der Frachten von Gesamt-P und ortho-P.

Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, bewegen sich die aus Gütedaten ermittelten Frachten an Gesamt-P zwischen ca. 17 t/a und ca. 390 t/a. Insgesamt zeigt das Diagramm eine gute Übereinstimmung zwischen Pegelfrachten und Modellergebnissen. Die mittlere Abweichung beträgt -4,8 %, die mittlere absolute Abweichung 18 %. Das Bestimmtheitsmaß liegt bei 90 %. Die festgestellten Fehler verteilen sich wie folgt: 7 der 18 Pegel zeigen Abweichungen von weniger als 10 % absolut, 4 Pegel zwischen 11 und 20 %, 3 Pegel zwischen 21 und 30 % und 4 Pegel Abweichungen von mehr als 30 % absolut.



Die aus Gütedaten ermittelten Frachten von ortho-P liegen zwischen ca. 6 t/a und ca. 193 t/a. Insgesamt zeigt das Diagramm eine gute Übereinstimmung zwischen Pegelfrachten und Modellergebnissen. Die mittlere Abweichung beträgt 12 %, die mittlere absolute Abweichung 21 %. Das Bestimmtheitsmaß liegt bei 93 %. Die festgestellten Fehler verteilen sich wie folgt: 8 der 18 Pegel zeigen Abweichungen von weniger als 10 % absolut, 3 Pegel zwischen 11 und 20 %, 4 Pegel zwischen 21 und 30 % und 3 Pegel Abweichungen von mehr als 30 % absolut. Die Streuung der Werte in Abbildung 9 ergibt sich einerseits aus der Unsicherheit der aus Messwerten ermittelten Frachten. Andererseits resultieren Unsicherheiten auch aus dem Modellfehler, der Unsicherheit von verwendeten Parametern sowie denen der Eingabedaten. Dies gilt nicht nur für das Modell MEPhos, sondern auch für das angekoppelte Wasserhaushaltsmodell GROWA, dessen Gesamtfehler sich in das MEPhos linear fortpflanzen. Um den mit zunehmender Skale wachsenden Datenfehler zu verringern, wurden für die Modellierung diejenigen Daten benutzt, die die höchste räumliche Auflösung und die größte Aktualität besitzen und derzeit für Hessen flächendeckend verfügbar sind. Dies gilt insbesondere bei sensitiven Eingangsdaten, z.B. Reliefinformationen bei der Erosionsmodellierung. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte können Abweichungen der modellierten von den aus Messwerten ermittelten P-Frachten von bis zu 30 % als gutes Ergebnis gewertet werden. Dies trifft auf 80 % der Messstellen zu. Zusammen mit den oben genannten statistischen Kenngrößen kann die Qualität der Modellergebnisse daher grundsätzlich als gut angesehen werden.

#### 4 Diskussion

Die MEPhos-Modellergebnisse zeigen sowohl für den Parameter Gesamt-P als auch für ortho-P dominierende Emissionen aus kommunalen Kläranlagen (46 bzw. 65 % der jeweiligen Gesamteinträge). Bei den diffusen Quellen sind v.a. die erosionsbürtigen P-Einträge von Bedeutung, die als partikulär gebunden angesehen werden. Eine Verringerung von P-Emissionen zwecks Verbesserung der Gewässergüte von Oberflächengewässern in Hessen muss daher v.a. bei den kommunalen Kläranlagen ansetzen. Eine Ertüchtigung durch technische Maßnahmen wird jedoch durch die eher geringen Größen der meisten hessischen Kläranlagen erschwert. Von einer Verringerung diffuser Einträge, insbesondere den erosionsbürtigen P-Einträgen, kann eine deutliche Reduzierung der Sedimentbelastung hessischer Oberflächengewässer einschließlich positiver Effekte für Makrozoobenthos und Fischfauna erwartet werden. Tabelle 3 zeigt die Anteile der Sedimentlieferflächen nach Klassen des Sedimenteintrags und die von diesen Klassen emittierten partikulären P-Einträge. Um ca. 100 t Gesamt-P/a in Hessen zu reduzieren, können Maßnahmen z.B. auf diejenigen Sedimentlieferflächen fokussiert werden, von denen mehr als 15 t/(ha·a) Bodenabtrag ausgehen. Diese Flächen machen nach Tabelle 3 lediglich 4 % aller Sedimentlieferflächen aus. Die von ihnen emittierten P-Einträge liegen jedoch bei 21 % des gesamten partikulären Eintrags. Die flächendifferenzierten Modellergebnisse von MEPhos bieten dabei den Vorteil, dass räumliche Belastungsschwerpunkte innerhalb von Teil-Einzugsgebieten bzw. Oberflächenwasserkörpern identifiziert werden und gezielt mit Maßnahmen belegt werden können. Dies trägt zur kosteneffizienten Umsetzung der EG-WRRRL bei.

Die Ergebnisse der Studie haben Eingang gefunden in die Aufstellung von Maßnahmenprogrammen und Bewirtschaftungsplänen für die Periode 2009–2015 durch das Hessische Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUJELV 2009 a,b). Erweiterungen des Modellansatzes zur Abbildung von Erosion und Sedimenteintrag werden derzeit im Rahmen des Projekts „Erosionsatlas Hessen“ (HLUG 2011) umgesetzt. Zur nach Eintragspfaden und Herkunftsflächen differenzierten Ermittlung der diffusen und punktuellen N- und P-Einträge wird das Modell MEPhos auch in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt sowie für das Einzugsgebiet der Weser zusammen mit dem Modellverbund GROWA-DENUZ-WeKu eingesetzt (GUSE et al. 2007, TETZLAFF et al. 2008 a,b, TETZLAFF et al. 2009a, WENDLAND et al. 2010). Kleinräumigere Nährstoffstudien mit höherem Detaillierungsgrad werden fortlaufend in Kooperation mit dem Wasserverband Eifel-Rur, u.a. im Einzugsgebiet der Urfttalsperre (NRW), durchgeführt, um Grundlagen für ein verbessertes Talsperren-Management zu erarbeiten (TETZLAFF et al. 2009b).

#### 5 Zusammenfassung

Wie die Bestandsaufnahme nach EG-WRRRL gezeigt hat, stellen hohe Nährstoffeinträge und ihre Folgen auch in vielen hessischen Oberflächengewässern nach wie vor eine signifikante Belastung dar. Die Analyse der Belastungssituation eutrophierungsgefährdeter Binnengewässer in Hessen hat ergeben, dass bei der Planung der Maßnahmenprogramme nach EG-Wasserrahmenrichtlinie eine Reduzierung der Nährstoffeinträge vorrangig bei den Phosphoreinträgen ansetzen muss. Hierzu müssen die Höhe der diffusen und punktuellen Phosphoreinträge und ihre Quelle bekannt sein. Zur landesweiten Ermittlung der Phosphoreinträge in Hessen (21.115 km<sup>2</sup>) wurde das Forschungszentrum Jülich (IBG-3) beauftragt, eine Modellanwendung mit MEPhos durchzuführen. Mit MEPhos wurden mehrjährige mittlere Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer über die Pfade Dränagen, grundwasserbürtiger Abfluss, Erosion, Abschwemmung, kommunale Kläranlagen, industrielle Direkteinleiter, Trennkanalesation und Mischwasserentlastung modelliert. Die Berechnung erfolgte dabei in hoher räumlicher Auflösung von 20·20 m<sup>2</sup>. Die Validität der Modellergebnisse wurde durch einen Vergleich mit aus Messwerten bestimmten Frachten bestätigt. Insgesamt summieren sich die mittleren Einträge in Hessen auf ca. 1.800 t/a, wobei mit Kläranlagen (46 %) und Erosion (27 %) zwei Quellen dominieren. Dies gilt sowohl für ganz Hessen als auch für eine Betrachtung auf Basis der 450 Oberflächenwasserkörper. Insgesamt beträgt das Verhältnis von punktuellen zu diffusen Einträgen 66:34. Angesichts der überragenden Bedeutung von Kläranlagen und Erosion für die Phosphorbelastung in den hessischen Oberflächengewässern wird empfohlen, bei der Planung von Managementmaßnahmen zur Reduzierung der Einträge auf diese Pfade zu fokussieren.

#### Summary

High nutrient inputs into surface waters are a major water-quality concern in the German Federal State of Hesse. The inventory of eutrophication-prone water bodies according to the European Water Framework Directive (WFD) and further studies had revealed that, in particular, high phosphorus concentrations are a significant pressure, what has to be considered in formulating WFD action programmes. This process requires validated infor-

mation about the levels and sources of significant phosphorus inputs. The Forschungszentrum Jülich (IBG-3) was commissioned by the Hessian Agency for the Environment and Geology to perform a MEPHOS model application over the entire state of Hesse (21,115 km<sup>2</sup>). MEPHOS simulates mean annual phosphorus inputs into surface waters via the pathways artificial drainage, groundwater, erosion, wash-off, municipal wastewater treatment plants, industrial effluents, stormwater sewers, and combined sewer overflows. Modelling was performed in high spatial resolution of 20·20 m<sup>2</sup>. The validity of model outputs was confirmed by comparison with water-quality data. The total inputs in Hesse were found to accumulate to some 1,800 t/a, with two sources dominating: wastewater treatment plants (46 %) and erosion (27 %). This characterizes both the overall and the regional situation of 450 river sub-basins. The relation of point to non-point sources is 66:34. In view of the overriding importance of P-releases from wastewater treatment plants and erosion from arable land, it is recommended to focus the planning of measures to curb eutrophication risks in Hessian surface waters on these sources.

#### **Anschrift der Verfasser:**

Dr. B. Tetzlaff  
Dr. F. Wendland  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Bio- und Geowissenschaften: IBG-3 (Agrosphäre)  
52425 Jülich  
b.tetzlaff@fz-juelich.de

#### **Literaturverzeichnis**

- ATV-A 128 (1992): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. – ATV-Regelwerk Abwasser-Abfall, korr. Nachdruck 04/1992
- AUERSWALD, K. (1987): Sensitivität erosionsbestimmender Faktoren. – *Wasser Boden* 39, 34–38
- AUERSWALD, K. (2006): Germany. – In: Boardman, J. & Poesen, J. (Hrsg.): *Soil Erosion in Europe*. – John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 213–230
- BEHRENDT, H., P. HUBER, M. LEY, D. OPITZ, O. SCHMOLL, G. SCHOLZ & R. UEBE (1999): Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. – UBA-Texte 75, Berlin
- BERNHARDT, H. (Hrsg.) (1978): *Phosphor – Wege und Verbleib in der Bundesrepublik Deutschland*. – Verlag Chemie, Weinheim
- BMU (Bundesministerium f. Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2001): *Wasserwirtschaft in Deutschland – Teil 2: Gewässergüte oberirdischer Binnengewässer*. – Berlin
- BMU (Bundesministerium f. Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2006): *Wasserwirtschaft in Deutschland – Teil 2: Gewässergüte*. – Berlin
- BROMBACH, H. & S. FUCHS (2003): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalesationen. – *KA-Abw. Abf.* 50 (4), 441–450
- BROMBACH, H. & S. MICHELBAACH (1998): Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees. – *Ber. Internat. Gewässerschutzabkommen Bodensee* 49
- BUTZ, J. (2005): Stoffstrombilanzen für Phosphor und sechs Schwermetalle am Beispiel des oberen Kraichbachs. – *Schr.-R. SWW Univ. Karlsruhe* 119, Karlsruhe
- DEUTSCHER BUNDESTAG (Hrsg.) (2004): *Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen: Meeresumweltschutz für Nord- und Ostsee*. – Bundestagsdrucksache, Nr. 15/2626, Berlin
- DUTTMANN, R. (1999): Partikuläre Stoffverlagerungen in Landschaften – Ansätze zur flächenhaften Vorhersage von Transportpfaden und Stoffumlagerungen auf verschiedenen Maßstabsebenen unter besonderer Berücksichtigung räumlich-zeitlicher Änderungen der Bodenfeuchte. – *Veröffentlichungen der Abteilung Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geographischen Institut der Universität Hannover*, H. 10, Hannover
- EG-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik
- ERPENBECK, C. (1987): Über Stoffaustrag mit dem Oberflächen- und Zwischenabfluß von landwirtschaftlichen Flächen verschiedener Nutzungsweise – ein Beitrag zur Klärung der Gewässerbelastung in Mittelgebirgslagen. – *Diss. Justus-Liebig-Universität Gießen, Inst. für Mikrobiol. u. Landeskultur*
- FIRK, W. & H.-F. GEGENMANTEL (1986): Nährstoffquellen: Einführung, Übersicht, Größenordnungen. – *Wasser-Abwasser-Abfall* (1), 8–25
- FUCHS, S., U. SCHERER, R. WANDER, H. BEHRENDT, M. VENOHR, D. OPITZ, T. HILLENBRAND, F. MARSCHEIDER-WEIDEMANN & T. GÖTZ (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS. – UBA-Texte 45, Berlin
- GÖTTLICHER-GÖBEL, U. (1987): Wasserqualität von Fließgewässern landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete insbesondere bei Hochwasserabflüssen. – *Diss. Justus-Liebig-Universität Gießen, Inst. für Mikrobiologie u. Landeskultur*
- GRUNWALD, S. (1997): GIS-gestützte Modellierung des Landschaftswasser- und Stoffhaushaltes mit dem Modell AGNPSm. – *Diss. Justus-Liebig-Universität Gießen (Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie)* 14
- GUSE, B., A. BRONSTERT, M. RODE, B. TETZLAFF & F. WENDLAND (2007): Application of two phosphorus models with different complexities in a mesoscale river catchment. – *Adv. Geosci.* 11, 77–84
- HAMM, A. (Hrsg.) (1991): *Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern*. – Academia Verlag, Sankt Augustin

- HAVEKAMP, S. (2000): Methodenentwicklung zur GIS-gestützten Modellierung des Landschaftswasserhaushaltes. – Diss. Justus-Liebig-Univ. Gießen (Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie. 29)
- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) (2011): Erosionsatlas Hessen. – In Vorbereitung
- HMUELV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2004): Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) in Hessen – Zusammenfassung der hessischen Ergebnisse der Bestandsaufnahme. – Bearbeitet durch Fr. Apel, <http://www2.hmuelv.hessen.de/umwelt/wasser/wrrl/umsetzung/> (zuletzt aufgerufen am 29.04.2011)
- HMUELV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2009a): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Maßnahmenprogramm Hessen 2009–2015 und Strategische Umweltprüfung. – <http://www2.hmuelv.hessen.de/umwelt/wasser/wrrl/umsetzung/MP/> (zuletzt aufgerufen am 29.04.2011)
- HMUELV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2009b): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Bewirtschaftungsplan Hessen 2009–2015. – <http://www2.hmuelv.hessen.de/umwelt/wasser/wrrl/umsetzung/BP/> (zuletzt aufgerufen am 29.04.2011)
- HOFFMANN, J. (1974): Die Wasserqualität von Vorflutern in Mittelgebirgslandschaften in Abhängigkeit von der naturräumlichen Ausstattung unter besonderer Berücksichtigung des Phosphateintrags. – Diss. Justus-Liebig Univ. Gießen, Inst. für Bodenkunde u. Bodenerhaltung
- MOLLENHAUER, K. (1987): Oberflächenabfluß sowie Fest- und Nährstoffverlagerung landwirtschaftlicher Nutzflächen. – Z. Kulturtechn. Flurberein. 28, 166–175
- MOLLENHAUER, K., C.-L. RATHJEN, T. CHRISTIANSEN & C. ERPENBECK (1990): Zur Erosivität der Niederschläge im Gebiet der deutschen Mittelgebirge, besonders im hessischen Raum. – DVWK-Schriften 86/II, 79–162
- MOORE, I.D. & J.P. WILSON (1992): Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: Simplified method of estimation. – J. Soil Wat. Cons. 49, 174–180
- MOSIMANN, T., A. MAILLARD, A. MUSY, J. NEYROUD, M. RÜTTIMANN & P. WEISSKOPF (1991): Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten. Ein Leitfaden für die Bodenerhaltung. – Themen-Ber. Nationales Forschungsprogr. „Nutzung des Bodens in der Schweiz“, Liebefeld, Bern
- MÜLLER, U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. – Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems. 7. erweiterte und ergänzte Auflage. Hrsg. vom NLFb, Hannover, Arbeitshefte Boden, H. 2, 409 S.
- MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (2003): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen. – 10. Aufl., Düsseldorf
- MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (2010): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen. – 14. Aufl., Düsseldorf
- PETER, M. (1988): Zum Einfluß der Abflußkomponenten QO, QI und QG auf den Stofftransport von Wasserläufen aus Einzugsgebieten verschiedener Bodennutzung in Mittelgebirgen mit speziellen hydromorphologischen Verhältnissen. – Diss. Justus-Liebig Univ. Gießen, Inst. Mikrobiol. Landeskult.
- PRASUHN, V. & M. BRAUN (1994): Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. – Schriftenreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) Liebefeld-Bern, Nr. 17, Bern
- PRASUHN, V., E. SPIESS & M. BRAUN (1996): Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee. – Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 45
- RODE, M. (1995): Quantifizierung der Phosphorbelastung von Fließgewässern durch landwirtschaftliche Flächennutzung. – Diss. Justus-Liebig-Univ. Gießen, Inst. Landeskultur, Boden u. Landsch. 1
- SCHIEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. – 14. Aufl., Enke Verlag, Stuttgart
- SCHWERTMANN, U., W. VOGL & M. KAINZ (1990): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. – 2. Aufl., E. Ulmer Verlag, Stuttgart
- SOMMER, M. & B. MURSCHEL (1999): Erosion und Nährstoffabtrag. – In: Dabbert, S., S. Herrmann, G. Kaule & M. Sommer (Hrsg.): Landschaftsmodellierung für die Umweltplanung. – Springer Verlag, Berlin u.a., 68–79
- STUMPF, F. & K. AUERSWALD (2006): Hochaufgelöste Erosionsprognosekarten von Bayern. – Wasserwirtschaft 7/8, 70–74
- SÜSSMANN, W. (1980): Der Einfluß der Bodennutzung auf die Wasserqualität von Oberflächengewässern im ländlichen Raum – dargestellt am Beispiel von Ederseezuflüssen. – Diss. Justus-Liebig-Univ. Gießen, Inst. Mikrobiol. u. Landeskultur
- TETZLAFF, B. (2006): Die Phosphatbelastung großer Flusseinzugsgebiete aus diffusen und punktuellen Quellen. – Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt/Environment 65, Jülich
- TETZLAFF, B., E. BRANDS, T. GRUNAU, F. JÖRRENS, B. RÜCKERT & F. WENDLAND (2009b): Modellierung der mehrjährigen mittleren Sediment- und Phosphoreinträge in die Urftalsperre mit MEPhos und Optionen zur Verbesserung der Gewässergüte. – Korresp. Wasserwirtsch. 12, 665–671

- TETZLAFF, B., K. FRIEDRICH, T. VORDERBRÜGGE, H. VEREECKEN & F. WENDLAND (2011): Distributed modelling of mean annual soil erosion and sediment delivery rates to surface waters. – *Catena*, online veröffentlicht, doi 10.1016/j.catena.2011.08.001
- TETZLAFF, B., P. KUHR & F. WENDLAND (2008a): Ein neues Verfahren zur differenzierten Ableitung von Dränflächenkarten für den mittleren Maßstabbereich auf Basis von Luftbildern und Geodaten. – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 52 (1), 9–18
- TETZLAFF, B., H. VEREECKEN, R. KUNKEL & F. WENDLAND (2009a): Modelling phosphorus inputs from agricultural sources and urban areas in river basins. – *Env. Geol.* 57, 183–193, DOI 10.1007/s00254-008-1293-1
- TETZLAFF, B. & F. WENDLAND (2008b): Flächendifferenzierte Modellierung von Phosphateinträgen in die Oberflächengewässer über Dränagen. – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 52 (5), 258–269
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2000): Daten zur Umwelt 2000. – Berlin, 207–212
- WENDLAND, F., P. KREINS, P. KUHR, R. KUNKEL, B. TETZLAFF & H. VEREECKEN (2010): Räumlich differenzierte Quantifizierung der N- und P-Einträge in Grundwasser und Oberflächengewässer in Nordrhein-Westfalen unter besonderer Berücksichtigung diffuser landwirtschaftlicher Quellen. – Forschungszentrum Jülich, Reihe Energie und Umwelt 88, Jülich
- WERNER, W., H.W. OLFS, K. AUERSWALD & K. ISERMANN (1991): Stickstoff- und Phosphateintrag in Oberflächengewässer über „diffuse Quellen“. – In: Hamm, A. (Hrsg.): Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern. – Academia Verlag, Sankt Augustin, 665–764
- WILKE, B. & D. SCHAUB (1996): Phosphatanreicherung bei Bodenerosion. – *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* 79, 435–438

# UN Wasserforum

## Fallstudien zu Klimawandel und Grundwasservorkommen

### Case studies on Climate Change and Groundwater Resources

Die Auswirkungen des Klimawandels und anthropogener Aktivitäten auf die Grundwasserressourcen hängen von einer Vielzahl von Faktoren, u.a. von klimatischen Bedingungen, geologischer Beschaffenheit, Vegetation, Landnutzung und Wasserbewirtschaftung ab. Im Rahmen des IHP Projekts Groundwater Resources Assessment under the Pressures of Humanity and Climate Change (GRAPHIC) wurden mit der Erarbeitung von Fallstudien die Wechselwirkungen von menschlichem Einwirken und Klimawandel auf Grundwasservorkommen unter spezifischen klimatischen und geologischen Bedingungen untersucht.

Die Ergebnisse von vier dieser insgesamt 20 Fallstudien aus der Publikation *Climate Change Effects on Groundwater Resources* werden hier kurz vorgestellt: tropisches südwestliches Uganda, Nord Andros auf den Bahamas, das semiaride Murray Grundwasserbecken im Südwesten Australiens und die Pekingebeine im nördlichen China mit kontinentalem Klima.

Mehr als ein Drittel der Weltbevölkerung leben derzeit in den Tropen, der Armutsanteil der Bevölkerung ist im globalen Vergleich sehr hoch, der Bevölkerungszuwachs deutlich größer als in anderen Gebieten der Erde. In den Tropen wird ein Großteil der das globale Klima antreibenden Sonnenenergie absorbiert, somit sind die Veränderungen der Speicherkapazität der Atmosphäre als Folge der anthropogen bedingten Erwärmung dort am höchsten (ALLEN & INGRAM 2002, TRENBERTH et al. 2003). Angesichts der gegenwärtigen demographischen und wirtschaftlichen Entwicklung und des Klimawandels sind folglich hier auch die schwerwiegendsten Auswirkungen auf die Wasserressourcen zu erwarten. Um diesen Herausforderungen begegnen zu können, bedarf es nachhaltiger und adaptiver Managementstrategien in der Wasserwirtschaft. Die personellen und institutionellen Kapazitäten sowie die hydrologische Wissensbasis, um entsprechende Wassermanagement Strategien zu entwickeln, sind in diesen Regionen allerdings begrenzt und müssen gefördert werden.

40 % der Landfläche Afrikas südlich der Sahara, ebenso wie tropische Regionen in anderen Teilen der Erde (z.B. Indien, Südamerika), weisen stark verwitterte kristalline Kluftgrundwasserleiter auf, die über Jahrzehnte für die ländliche Bevölkerung Grundlage für Trinkwasserversorgung sowie Land- und Viehwirtschaft waren und eine Anpassung an saisonale oder lang anhaltende Dürre ermöglicht haben. Angesichts des starken Bevölkerungswachstums und zunehmender Grundwassernutzung stellt sich die Frage, inwieweit diese lokalen Grundwasserleiter, die meist von geringer Ergiebigkeit sind, der steigenden Nachfrage und Nutzung von Grundwasser nachkommen können.

Eine von TAYLOR & TINDIMUGAYA (2011) durchgeführte Studie untersucht die Auswirkungen von Klimawandel und menschlichen Aktivitäten auf die Grundwasserressourcen südlich der Sahara im Mitano Becken im südwestlichen Uganda. Basierend auf hydrogeologischen Feldarbeiten und Modellierungen werden in

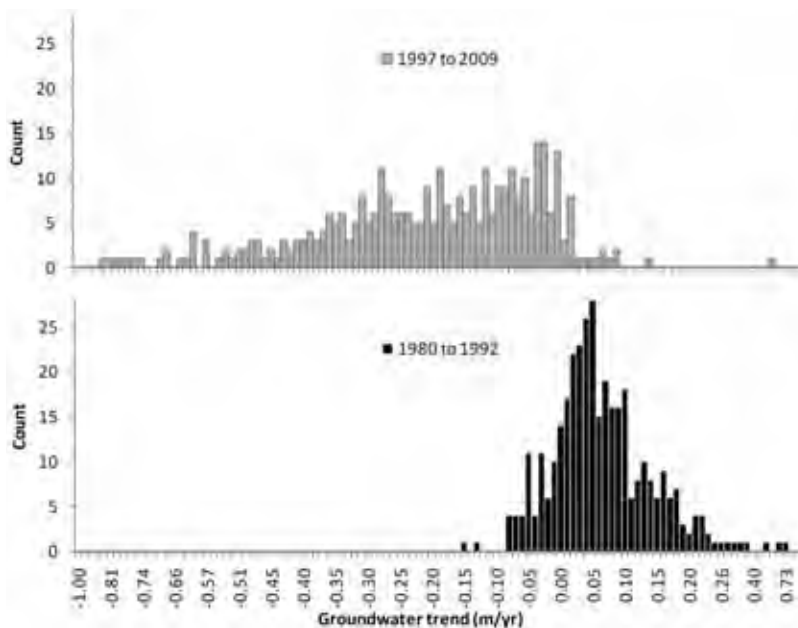
der Fallstudie folgende Schlussfolgerungen gezogen: (1) Intensive Grundwasserentnahme für städtische Wasserversorgung hat über wenige Jahre zu einer lokalen Absenkung des Grundwasserspiegels von ca. 15 m geführt. Es ist zu erwarten, dass die stark zunehmende Entwicklung und Nutzung von Grundwasser über die nächsten 20 Jahre stärkere Auswirkungen auf die Ressource Wasser haben wird als der Klimawandel; (2) Die prognostizierten Veränderungen der Saisonalität und Intensität von Niederschlagsereignissen beeinflussen entscheidend Zeitpunkt und Menge der Grundwasserneubildung. Dies wird in Prognosen, die auf gleichbleibender Anzahl der Niederschlagsereignisse beruhen, nicht berücksichtigt, die Ergebnisse variieren jedoch entscheidend: bei Einbeziehung nur der historischen Niederschlagsverteilung wird eine deutliche Abnahme (-55 %) der Grundwasserneubildung errechnet. Eine deutliche Zunahme (+53 %) der Grundwasserneubildung ist hingegen zu erwarten, wenn berechnete Änderungen der Niederschlagsverteilung und -intensität mit berücksichtigt werden. Es ist demnach zu erwarten, dass eine zunehmende Intensität der Niederschläge die Grundwasserneubildung erhöhen wird. Ferner sind verstärkter Oberflächenabfluss sowie verringerte Bodenfeuchte zu erwarten. Grundwasserbasierte Bewässerung ist somit die logische Folgerung zur Anpassung an reduzierte Bodenfeuchte und damit verbundene geringere Erträge im Mitano Flussbecken; (3) Vorhersagen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser sind stark mit Unsicherheit behaftet; langfristiges Monitoring ist dringend erforderlich, um die Verlässlichkeit von Prognosen zu verbessern und das Grundwassermanagement zu unterstützen.

BOWLEG & ALLEN (2011) untersuchen in einer weiteren tropischen Fallstudie die Auswirkungen einer Sturmflut während des Hurrikans Frances im Jahr 2004 auf die Grundwasservorkommen der nördlichen Andros Insel auf den Bahamas. Grundwasservorkommen auf Inseln sind besonders gefährdet durch Extremwetterereignisse oder Meeresspiegelanstieg. Dies trifft insbesondere auf niedrig liegende Inseln zu, d.h. viele der Bahamas-Inseln. Die Sturmflut im Jahre 2004 betraf weite Teile der nördlichen Andros Insel und führte zu einem Anstieg der Chloridkonzentration in den Bewässerungsgräben von weniger als 400 mg/L (3 Monate vor dem Wirbelsturm) auf mehr als 13.000 mg/L in einigen Brunnenfeldern. Auf den Bahamas sowie auf vielen anderen Inseln stellt Grundwasser in Form einer Frischwasserlinse die Hauptquelle für Süßwasser dar. Eine Versalzung dieser Ressource ist somit eine unmittelbare Bedrohung für die Inselbevölkerung. Untersuchungen ergaben, dass das Salzwasser durch Bewässerungskanäle weit ins Inselinnere gelangte. Da mit einem Klimawandel Häufigkeit und Intensität von Wirbelstürmen zunehmen können, ist eine wesentliche Empfehlung dieser Studie, die Bewässerungsgräben durch geeignete Strukturen voneinander zu isolieren und durch Sperrwerke vor dem Eindringen von Salzwasser während Sturmfluten zu schützen (US ARMY CORPS OF ENGINEERS 2004).

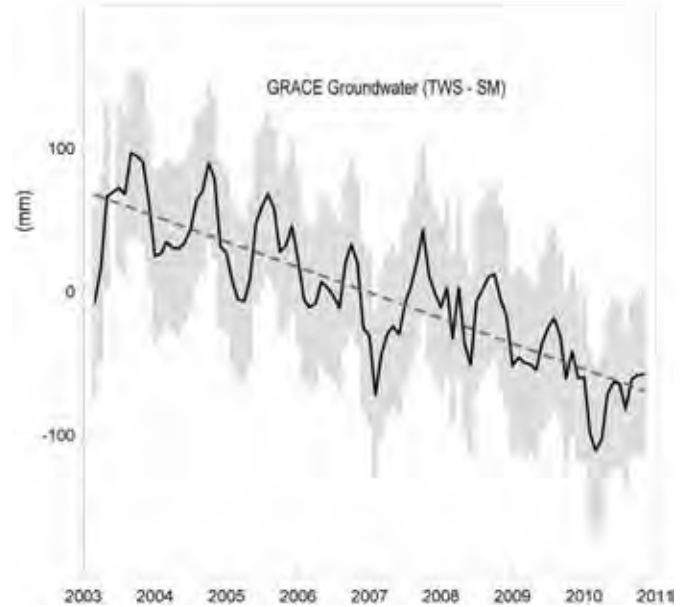
Das Murray Grundwasserbecken im semiariden Südosten Australiens nimmt ungefähr ein Drittel des Murray-Darling Einzugsgebiets ein und ist von entscheidender Bedeutung für die landwirtschaftliche Produktion des Landes. Zwei klimatisch und anthropogen bedingte Faktoren beeinflussen hier maßgeblich das Grundwassermanagement: (i) erhöhte Grundwasserneubildung,

die auf großräumige Rodung der natürlichen Vegetation zurückzuführen ist und vielerorts zu Versalzung der Böden führt, und (ii) steigende Nachfrage und Nutzung von Grundwasser aufgrund der zunehmenden hydroklimatischen Variabilität und somit geringen Verlässlichkeit bei der Nutzung von Oberflächenwasserressourcen. Die Murray Region hat in den letzten Jahren eine der schwersten und anhaltenden Trockenheiten des 20. und 21. Jahrhunderts erlebt. LEBLANC et al. (2011) untersuchten die Grundwasserdynamik im Murray Becken anhand langer Zeitreihen von Grundwasserstandsdaten und verglichen diese mit satellitenbasierten Gravimetrie-Messungen (GRACE). Auf regionaler Ebene zeigen die Messdaten in den Jahren 1980–1992 ein Ansteigen der Grundwasserspiegel im Murray Grundwasserbecken um ca. 5 cm/a (Median), zurückzuführen auf erhöhte Grundwasserneubildung nach der Rodung. Mit Beginn der Dürre in den späten 90er Jahren ist von 1997–2009 ein starkes Absinken der Grundwasserspiegel um 17 cm/a (Median) zu verzeichnen (Abb. 1). Dieser Trend wird auch durch satellitenbasierte Gravimetrie-Messungen in Kombination mit dem NOAA Landoberflächenmodell bestätigt: über das 300.000 km<sup>2</sup> große Becken wird die Grundwasserabnahme im Zeitraum von März 2003 bis Dezember 2010 auf 17,8 (+/- 1,3) mm/a oder 5,3 (+/- 0,4) km<sup>3</sup>/a geschätzt (Abb. 2).

Die anthropogene Grundwasserentnahme wurde während der Dürre 2004–2005 auf ca. 0,4 km<sup>3</sup>/a geschätzt (CSIRO 2008) und macht damit weniger als 10 % der anhand von GRACE Daten kalkulierten Abnahme des Grundwasserspeichervolumens aus. Der Grundwasserrückgang kann daher nur durch verringerte Grundwasserneubildung während der Dürreperiode, bei gleichzeitig hoher natürlicher Entnahme durch tief wurzelnde Bäume, die auch bei niedrigen Wasserspiegeln noch das Grundwasser erreichen, erklärt werden. Die Dürreperiode hat somit, zumindest zeitweise, den Trend steigender Grundwasserspiegel und damit einhergehender Bodenversalzung im Murray Grundwasserbecken gestoppt und teilweise sogar rückgängig gemacht.



**Abbildung 1**  
Histogramm des regionalen Langzeitrends der Grundwasserstände im Murray Grundwasserbecken in den Jahren 1980–1992 und 1997–2009, basierend auf Daten von 354 repräsentativen Messstellen (nach LEBLANC et al. 2011).



**Abbildung 2**  
Entwicklung des Grundwasserspeichers von März 2003 bis Dezember 2010, basierend auf GRACE Daten (durchgehende schwarze Linie: GRACE Messdaten, graue Balken: Unsicherheit, gestrichelte Linie: Trend). Berechnet als Gesamtwasserspeicher (total water storage – TWS) minus Bodenfeuchte (soil moisture – SM), Änderungen im atmosphärischen Wassergehalt, in der Biomasse gespeichertes Wasser sowie Speicheränderungen in Oberflächengewässern sind vernachlässigbar (nach LEBLANC et al. 2011).

Aufgrund der guten hydrogeologischen Felddaten bot die Studie die Möglichkeit, die Anwendung satellitenbasierter Gravimetrie-Messung (GRACE) für die Bestimmung von Grundwasserspeicheränderungen auf regionaler Ebene zu testen und zeigte eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Es wird erwartet, dass GRACE in Zukunft eine zunehmend wichtige Rolle beim Monitoring von Gebieten spielen wird, die über keine ausreichenden Grundwasserstandsdaten verfügen. Somit stellt GRACE, ungeachtet der Einschränkungen hinsichtlich der räumlichen Auflösung, ein wichtiges Werkzeug für das Grundwassermonitoring und -management dar.

ZHOU & LI (2011) untersuchen in einer Fallstudie die direkten und indirekten Auswirkungen anhaltender Trockenheit auf den Rückgang der Grundwasservorräte in der Pekingebeine im nördlichen China. Von 1999–2010 erlebte die durch kontinentales Klima geprägte Region eine 12-jährige Dürre. Als Reaktion auf die Dürre und um die Wasserversorgung der Bevölkerung zu gewährleisten, wurden seit 2003 sechs neue Notfall-Brunnenfelder erschlossen. Somit hatte die Dürre doppelte Auswirkungen auf die Grundwasservorkommen: reduzierte Grundwasserneubildung durch weniger Niederschläge (direkte Auswirkung) bei gleichzeitig verstärkter Nutzung des Grundwassers als einzig verfügbare und somit Notfallressource (indirekte Auswirkung). Gemeinsam führten beide Faktoren zum Absinken der Grundwasserspiegel um 20 bis 40 m. Anders als in der oben beschriebenen Studie aus dem Murray Grundwasserbecken haben die indirekten Auswirkungen der Trockenperiode die direkten Auswirkungen somit noch verstärkt.

Mithilfe eines Grundwassermodells wurden die direkten und indirekten Auswirkungen der Trockenheit auf die Grundwasservorkommen in der Pekingebeane analysiert und Szenarien für eine Trendumkehr der Grundwasserabnahme simuliert (ZHOU & LI 2011). Eine Kombination aus verringerter Grundwasserentnahme und künstlicher Grundwasseranreicherung zeigte sich als bestmögliche Option. Ein Dürremanagementplan wird dringend benötigt, um vom derzeitigen Krisenmanagement zu langfristigem und nachhaltigem Grundwassermanagement zu gelangen.

Das im Rahmen des IHP-GRAPHIC Projektes erarbeitete Buch "Climate Change Effects on Groundwater Resources – A Global Synthesis of Findings and Recommendations" mit Fallstudien aus tropischen, ariden, semi-ariden, gemäßigten, kontinentalen und polaren Klimaten kann unter [www.crcpress.com/product/isbn/9780415689366](http://www.crcpress.com/product/isbn/9780415689366) bestellt werden.

### Literaturverzeichnis

- ALLEN, M.R. & W.J. INGRAM (2002): Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. – *Nature* 419, 224–232
- BOWLEG, J. & D.M. ALLEN (2011): Effects of storm surges on groundwater resources, North Andros Island, Bahamas. – In: Treidel, H. et al.: *Climate Change Effects on Groundwater Resources*. – IAH
- CSIRO (2008): Water availability in the Loddon-Avoca. – A report to the Australian Government from the CSIRO Murray-Darling Basin Sustainable Yields Project. CSIRO, Australia. 123pp.
- EK, M.B., K.E. MITCHEL, Y. LIN, E. ROGERS, P. GRUNMANN, V. KOREN, G. GAYNO & J.D. TARPLEY (2003): Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. – *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 108(D22), 8851
- LEBLANC, M., S. TWEED, G. RAMILLIEN, P. TREGONING, F. FRAPPART, A. FAKES & I. CARTWRIGHT (2011): Groundwater change in the Murray basin from long-term in situ monitoring and GRACE estimates. – In: Treidel, H. et al.: *Climate Change Effects on Groundwater Resources*. – IAH
- TAYLOR, R. & C. TINDIMUGAYA (2011): The impacts of climate change and rapid development on weathered crystalline rock aquifer systems in the humid tropics of sub-Saharan Africa: evidence from south-western Uganda. – In: Treidel, H. et al.: *Climate Change Effects on Groundwater Resources*. – IAH
- TREIDEL, H., J.L. MARTIN-BORDES & J.J. GURDAK (eds) (2011): *Climate Change Effects on Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations*. – IAH – International Contributions to Hydrogeology, Taylor and Francis publishing
- TRENBERTH, K.E. et al. (2003): The changing character of precipitation. – *Bulletin of the American Meteorological Society* 84, 1205–1217
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS (2004): *Water Resources Assessment of The Bahamas*. – US Army Corps of Engineers, Mobile District & Topographic Engineering Center, December 2004. 114 pp.
- ZHOU, Y. & W. LI (2011): *Groundwater Monitoring, Information System, Modelling and Sustainable Development*. – China Sciences Publishing, Beijing, China. 372 pp.
- ZHOU, Y., L. WANG, J. LIU & C. YE (2011): Impacts of drought on groundwater depletion in the Beijing Plain, China. – In: Treidel, H. et al.: *Climate Change Effects on Groundwater Resources*. – IAH

*H. Treidel, International Hydrological Programme (IHP),  
UNESCO, Paris*

# Tagungsbericht

## 10 Jahre erfolgreiche Klimawandelforschung im Jordangebiet

### 10 years successful research on climate change in the Jordan basin

Vom 5.–8. September 2011 feierte das vom BMBF finanzierte interdisziplinäre Projekt „GLOWA Jordan River Project“ seine über 10 Jahre andauernde erfolgreiche Forschungs Kooperation im Rahmen einer wissenschaftlichen Konferenz in Limassol, Zypern. Über 100 Wissenschaftler und Akteure aus Deutschland, Israel, Jordanien und den Palästinensischen Gebieten haben an der Konferenz teilgenommen.

Die Tagung wurde von Prof. Dr. Katja Tielbörger (Universität Tübingen) eröffnet, Projektleiterin seit 2001. Sie stellte die integrativen Ansätze vor, welche die Ergebnisse von Hydrologen, Ökologen, Soziologen, Wirtschaftswissenschaftlern und anderen Wissenschaftlern aus Deutschland, Israel, Jordanien und den Palästinensischen Autonomiegebieten zusammenfassen. Die Forschungs Kooperation hat sich zum Ziel gesetzt, die Zukunft der Jordan-Anrainerstaaten angesichts des globalen Wandels zu verbessern. Nachhaltiges Wasser- und Landmanagement in der Jordanregion stehen dabei im Fokus des GLOWA Jordan River Projekts, denn die Wasserverfügbarkeit pro Einwohner in der Region ist eine der niedrigsten weltweit. In zehnjähriger Arbeit ist es den Wissenschaftlern des GLOWA Jordan River Projektes nicht nur gelungen, neuartige Managementansätze und Werkzeuge zu entwickeln, sondern eine Atmosphäre von gegenseitigem Vertrauen, echter Zusammenarbeit und sogar Freundschaft zu schaffen.

Das Projekt kooperiert eng mit Akteuren in der Region wie zum Beispiel Wasser-, Landwirtschafts- und Entwicklungsministerien, Universitäten und Nichtregierungsorganisationen. Diese erhielten auf der Tagung ebenfalls die Möglichkeit, die anwendungsbezogenen Produkte und Ergebnisse von GLOWA Jordan River vorzustellen, welche bereits heute in nationale und regionale Entscheidungsprozesse eingebracht werden. Mit dem stark nutzerorientierten Ansatz soll die Nutzung der knappen Ressource Wasser für alle Menschen der Region und seine Ökosysteme maximiert werden. Wie die Vorträge zeigten, liefert das Team eine große Bandbreite von wissenschaftlich soliden Grundlagen für konkrete Handlungsstrategien. Ein Hauptergebnis des Projekts ist dabei, dass eine angepasste Landnutzung die negativen Folgen des Klimawandels minimieren kann.

Während der dreitägigen Konferenz wurden die Ergebnisse, Modelle, Ansätze und Instrumente des Projektes in Form von Vorträgen, Postern und Ausstellungen dargestellt. Wichtig war hierbei, die Darstellung praxisorientiert zu gestalten.

Detaillierte Informationen zu den Präsentationen stehen auf der GLOWA Jordan River Homepage zur Verfügung: <http://www.glowa-jordan-river.de/Conference/Information>.

### Szenarien zum Klimawandel

Ein internationales Team um Pinhas Alpert von der Tel Aviv University sowie Harald Kunstmann vom IMK-IFU stellte die Höhe-

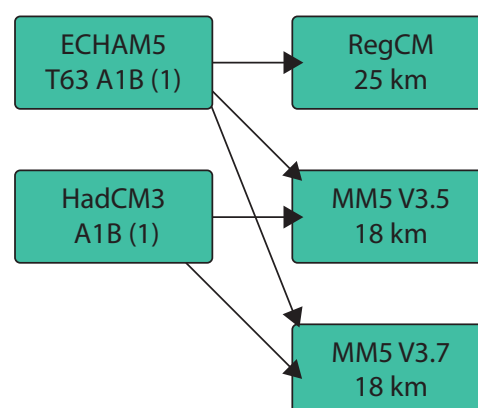
punkte ihrer zehnjährigen Kooperation bei der Entwicklung von regionalen Klimaszenarien dar. Es wurden verschiedene Klimasimulationen von 1960 bis 2060 bzw. 2100 durchgeführt (Abb. 1). Das Ensemble von Szenarien legt nahe, dass die Wasserverfügbarkeit in der Region weiter zurückgehen wird und sich die Wasserkrise somit verschärfen wird.

- Die durchschnittliche Sommertemperatur (Juni bis August) wird bis zu 3 °C steigen und die durchschnittliche Jahrestemperatur bis zu 2 °C. Gleichzeitig sollen die durchschnittlichen Jahresniederschläge um 10 bis 20 % abnehmen, was insgesamt die Wasserverfügbarkeit erheblich verringern wird.
- Extreme Ereignisse wie Hitzewellen oder ausgeprägte Trockenjahre werden häufiger werden.

Die Klimaszenarien dienen als Input für weitere Modelle, welche den Einfluss des Klimawandels auf hydrologische, ökologische und ökonomische Systeme simulieren.

### Szenarien zur Zukunft der Jordanregion und mögliche Anpassungsstrategien

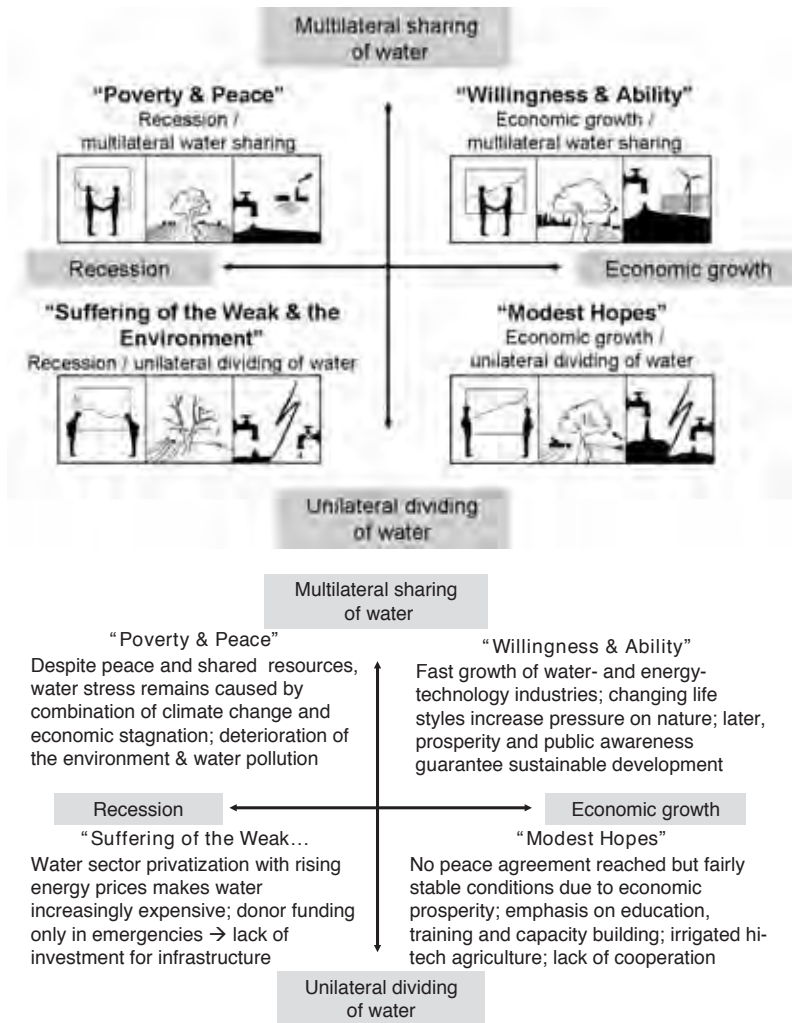
Einer der Integrationsansätze wird von der Universität Kassel koordiniert und wurde auf der Tagung von Janina Onigkeit vorgestellt. Anhand des SAS „Story and Simulation“ Ansatzes wurden vier mögliche Szenarien der regionalen Entwicklung bis hin zum Jahre 2050 erarbeitet. Sie beschreiben mögliche zukünftige Entwicklungen der Gesellschaft sowie der Land- und Wasserressourcen. Für jedes der vier Szenarien der regionalen Entwicklung wurden mit Hilfe des Wassermanagementinstruments, WEAP, und den weiteren Projektergebnissen (s.u.) Wasser- und Landnutzungsstrategien aufgestellt (Abb. 2) und untersucht, inwieweit es übergreifende Strategien gibt, welche in allen Szenarien sinnvoll erscheinen. Als ein mögliches Instrument zur Verbesserung der regionalen Kooperation im Ressourcenmanagement wurde zum Beispiel von den Akteuren die Errichtung eines regionalen Informationszentrums zum Klimawandel identifiziert.



**Abbildung 1**

Durchgeführte Klimasimulationen von 1990 bis 2060. Für MM5 bis 2100 (SMIATEK et al. 2011)





**Abbildung 2**  
 Schema zu den GLOWA Jordan River Szenarien der regionalen Entwicklung (oben) und (unten) Kurzdarstellung der Wassermanagement Strategien (ONIGKEIT et al. 2011)

**Analyse möglicher zukünftiger Wassernutzungsstrategien, Instrument zum Wassermanagement**

Christopher Bonzi von der Universität Tübingen stellte mit seinen Kollegen vom Stockholm Environment Institute (SEI), der An-Najah University (PA), ATEEC (Jordanien) und STAV-GIS (Israel) das Hauptwerkzeug vor, welches zur Unterstützung von Entscheidungen zur Wasserallokation genutzt werden soll. Mit Anwendungen von WEAP (Water Evaluation and Planning Tool) wird das aktuelle und mögliche zukünftige Wassersystem in Form von Angebot und Nachfrage der Jordanregion abgebildet. Verschiedene zukünftige Wassernutzungsstrategien werden für jedes der vier SAS Entwicklungsszenarien überprüft (Abb. 3). Als Input dienen weitere Projektergebnisse zu Wassernachfrage und -angebot sowie Daten von lokalen Behörden. Der Ansatz für die WEAP Anwendungen ist genestet: es gibt vier separate WEAPs für das Jordantal in Jordanien, die West Bank, den Oberlauf und den Unterlauf. Zusätzlich gibt es ein regionales WEAP, in welchem grenzüberschreitende Lösungen evaluiert werden.

WEAP wird bereits heute von den Wasserbehörden der Region (Jordan Ministry of Water and Irrigation, Israeli Water Authority, Palestinian Water Authority) als Planungsinstrument eingesetzt und repräsentiert somit eine der großen Errungenschaften von GLOWA Jordan River.

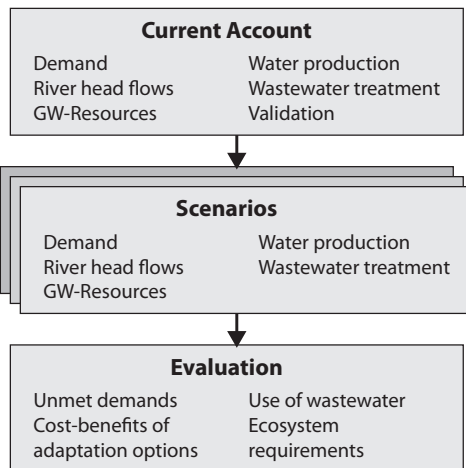
**Folgen des Klimawandels auf die Regionale Wasserbilanz**

Lucas Menzel aus Heidelberg stellte das detaillierte, physikalisch basierte Modell TRAIN vor, welches die aktuelle und mögliche zukünftige Wasserverfügbarkeit unter Einbezug von meteorologischen Konditionen, Topographie, Böden und Landnutzung simuliert. Die Wasserverfügbarkeit ist die Summe aus Sickerwasser und Oberflächenabfluss und repräsentiert die Menge des potentiell für Menschen verfügbaren Wassers. Zusätzlich simuliert TRAIN die Folgen des Klimawandels auf die aktuelle Evapotranspiration, den Bewässerungsbedarf (Abb. 4), Länge und Vorkommen von Dürren sowie den Einfluss von Landnutzungsänderung auf die Wasserverfügbarkeit und das Erosionsrisiko. Das Modell zeigte eine überproportionale Zunahme des Bewässerungsbedarfs bei einem Rückgang der Niederschläge sowie eine Zunahme von extremen Dürreperioden.

**Folgen des Klimawandels auf die hydrologischen Systeme und mögliche Anpassungsstrategien**

Die hydrologischen Veränderungen des Jordanoberlaufes und im See Genezareth wurden von Alon Rimmer von den Kinneret Limnological Laboratories mit den Modellen HYMKE (Hydrological Model for Karst Environment), LSM (Lake Salinity Model) und LEM (Lake Evaporation Model) simuliert. Hieraus ergab sich, dass die Zuflüsse in den See Genezareth langfristig abnehmen bei gleichzeitigem Anstieg des Wasserverbrauchs. Dennoch ist der Einfluss des Klimawandels auf die Niederschläge und Zuflüsse eher klein im Vergleich zu den lokalen Effekten, die durch Landnutzungsänderungen oder politische Entscheidungen hervorgerufen werden. Groß ist auch der menschliche Einfluss auf Versalzungstrends.

Das TRAIN-ZIN Modell, welches von Jens Lange (Universität Freiburg) und Kollegen aus Israel (Hebrew University) sowie der West Bank (An Najah University) vorgestellt wurde, liefert für den unteren Jordan Abschätzungen zum natürlich vorkommenden Oberflächenwasser unter Ausschluss von Entnahmen und Umleitung und ermöglicht die Abschätzung des Potentials für Regenwassernutzung (Abb. 5) und kontrollierter Grundwasseranreicherung. Das MOSST Model zeigt, dass im Karstsystem des Unterlaufs zukünftiger Abfluss von der Wasseranreicherungintensität abhängt und nicht vorhersehbar ist, da anthropogene Auswirkungen dominieren.



### Folgen des Klimawandels auf die Wasserproduktivität im Jordan Oberlauf

Pedro Berliner von der Ben Gurion University präsentierte Ergebnisse des ‚Wheat Models‘, welches die Folgen des Klimawandels auf die Weizenproduktivität simuliert, den zukünftigen Bewässerungsbedarf berechnet und Methoden zur Reduzierung der Evapotranspiration bewertet. Hier zeigte sich ein starker Einfluss des Klimawandels (2–3 facher Anstieg der Bewässerungsmenge). Gleichzeitig konnte mit Experimenten und im Modell gezeigt werden, dass bestimmte Methoden (z.B. Mulchen) geeignet sind, um den Gesamtwasserverbrauch beträchtlich zu reduzieren (bis zu 30 %).

### Folgen des Klimawandels auf Ökologische Systeme und Managementoptionen

Ein besonderes Merkmal des GLOWA Jordan River Projektes ist die intensive Betrachtung von ‚grünem Wasser‘, dem Wasser in Pflanzen und Böden, für eine nachhaltige Nutzung. Marcelo Sternberg aus Tel Aviv, Dan Malkinson aus Haifa, Katja Tielbörger aus Tübingen und Katja Geissler aus Potsdam stellten die Ergebnisse von langjährigen Feldversuchen und Modellen entlang eines steilen regionalen Niederschlagsgradienten vor. Diese können Tendenzen zur Auswirkung von Klimaänderung auf natürliche und halbnatürliche Ökosysteme aufzeigen. Zusätzlich wird mit dem Modell WADISCAPE der Einfluss von Klima, Beweidung, bestimmten Managementmaßnahmen auf Biomasseproduktion und Biodiversität simuliert (Abb. 6). Das Modell liefert zudem Informationen zu einem aus ökologischen Gesichtspunkten optimalen Landmanagement (z.B. zu Beweidungsdichten) und kann somit direkt als Entscheidungsunterstützungssystem genutzt werden. Dies wurde auch in einem Vortrag von Yehoshua Shkedy von der Israel Nature and Parks Authority unterstrichen, die insbesondere an den Ergebnissen zum zukünftigen Feuerrisiko interessiert ist.

Die Folgen des Klimawandels auf die (halb-/natürlichen) Ökosysteme regionaler Kulturlandschaft können wie folgt zusammengefasst werden. Natürliche Ökosysteme scheinen gegenüber dem Klimawandel resistent zu sein, da die Organismen, welche diese Systeme ausmachen, an die natürliche klimatische Variabilität angepasst sind. Die Vulnerabilität gegenüber Klimawandel hängt jedoch stark von der Beweidungsintensität ab. So zeigen Ergebnisse eines Gemeinschaftsprojektes der Universität Hannover und der University of Jordan, dass die Antwort der Systeme auf Beweidung drastisch ist und eine Überweidung die Anpassungsfähigkeit der Systeme an den Klimawandel stark beeinträchtigt. Die positive Wirkung dieser Erkenntnis ist, dass die Folgen des Klimawandels mittels eines optimalen Beweidungsmanagements gemildert werden können.

### Folgen des Klimawandels auf Ökosystemdienstleistungen und Flächennutzung

Moti Shechter (Haifa) stellte die sozioökonomischen Arbeiten seines eigenen und des Teams von Aliza Fleischer (Hebrew University of Jerusalem), Emad Karalieh (ATEEC) und Thameen Hijawi (AIRD) vor. Die Modelle VALUE für Israel und WAM für Jordanien analysieren die optimale Land- und Wassernutzung für die pflanzenbauliche Landwirtschaft unter Klimawandel.

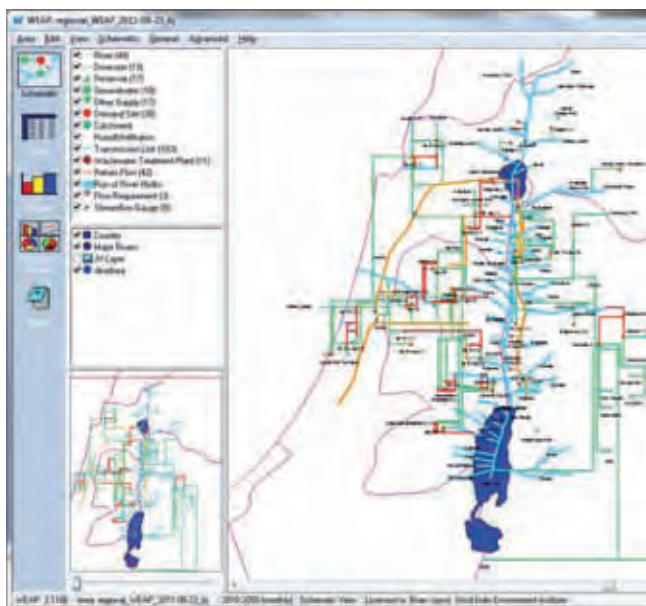


Abbildung 3 WEAP Vorgehensweise (BONZI et al. 2011)

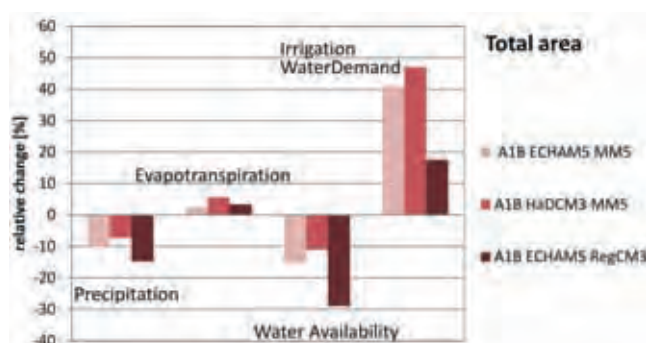
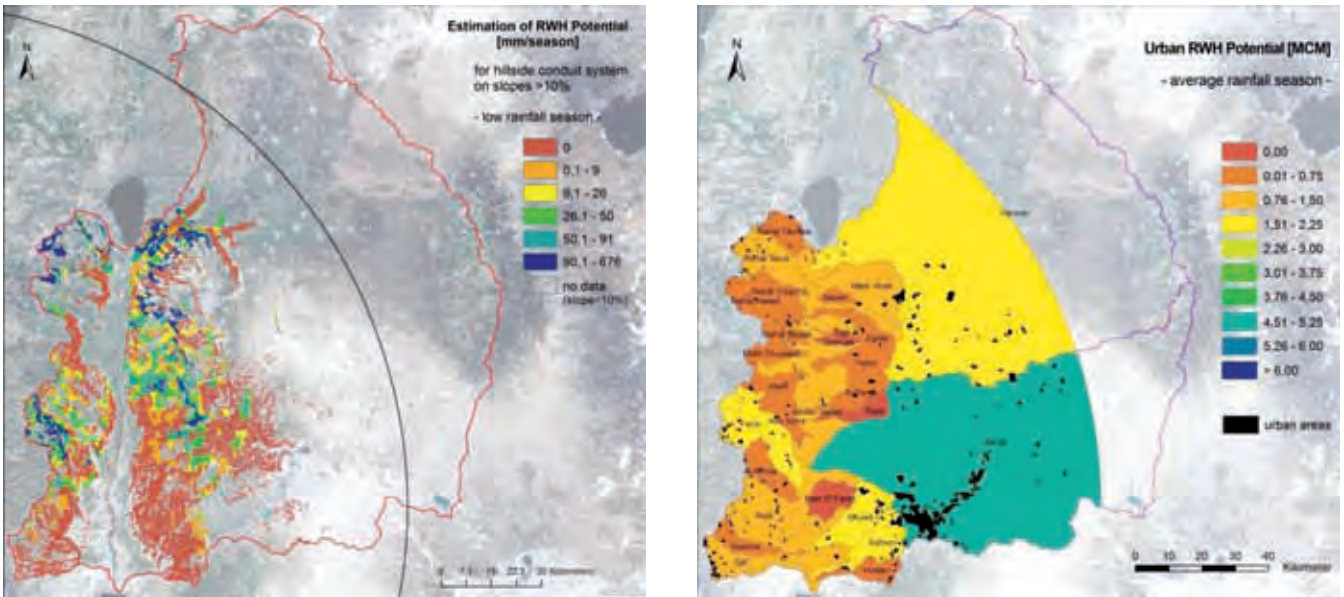


Abbildung 4 Szenarien möglicher Folgen von Klimawandel auf die Wasserbilanzkomponenten und den Bewässerungsbedarf in der Jordan Region (2031–2060 vs. 1961–1990) simuliert für 3 Klimaszenarien (MENZEL et al. 2011).



**Abbildung 5**  
 Abschätzung des Potentials für die Nutzung von ländlichem (links) und urbanem (rechts) Regenwasser (rural and urban rainwater harvesting) (LANGE et al. 2011)

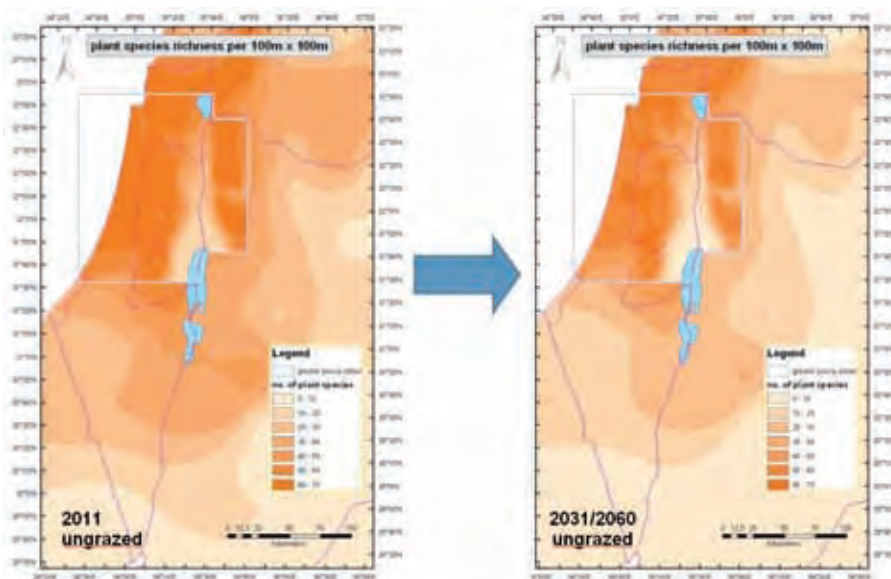
Mittels mikroökonomischen und makroökonomischen Ansätzen wurde der sozioökonomische Nutzen der Ökosystemdienstleistungen qualitativ charakterisiert und die Folgen des Klimawandels auf die Ökosystemdienstleistungen quantitativ bewertet. Die sozioökonomischen Ergebnisse gehen in das Landnutzungsmodell LandSHIFT.R ein (Abb. 8).

**Szenarien der Veränderung der Landnutzung**

Rüdiger Schaldach und Jennifer Koch von der Universität Kassel präsentierten das Modell LandSHIFT.R, mit welchem räumlich explizite Landnutzungsszenarien für jedes der regionalen Entwicklungsszenarien (s.o.) bis 2050 (s. Abb. 7) sowie zu Ernteertrag unter Klimawandel, zur potentiellen landwirtschaftlichen Flä-

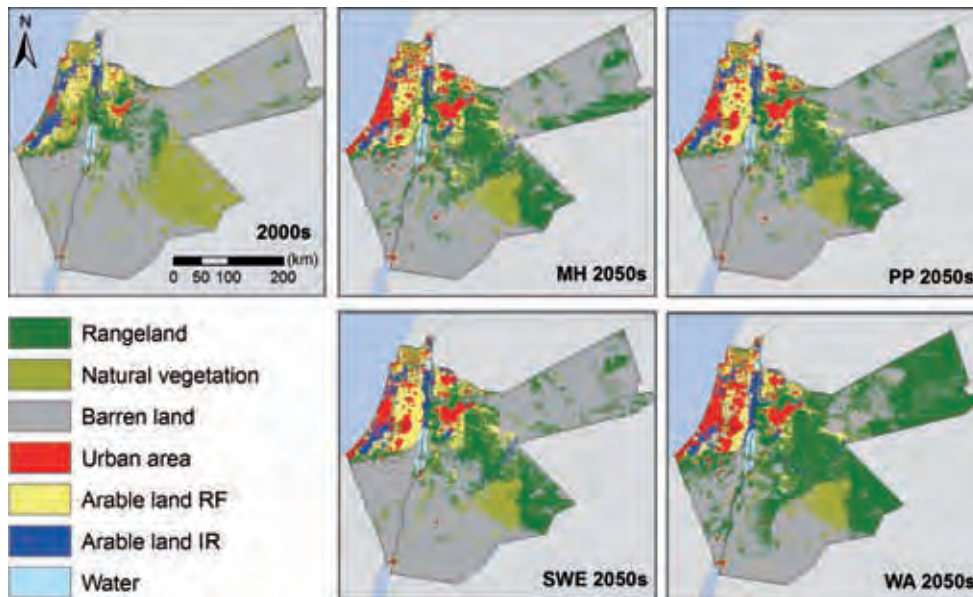
chenverbreitung, zur Populationsdichte, Besatzdichte und Ökosystemdienstleistungen (s.u.) erstellt werden. Das Modell basiert auf einem modifizierten Zellulären-Automaten Ansatz und simuliert die optimale Allokation von Landressourcen zwischen verschiedenen Landnutzungsaktivitäten wie urbane Flächen, landwirtschaftliche Anbauflächen, Beweidung und naturbelassene Flächen. Das Modell wird angetrieben von den Ergebnissen der anderen Arbeitsgruppen, d.h. dem Bedarf an flächenintensiven Verbrauchsgütern (z.B. Nahrungsmittel), landwirtschaftliche Produktivität, Populationsentwicklung und Annahmen über Politik und Sozioökonomie aus den regionalen Entwicklungsszenarien.

**Regionale Evaluierung der Standorteignung für Abwasserberegnung**

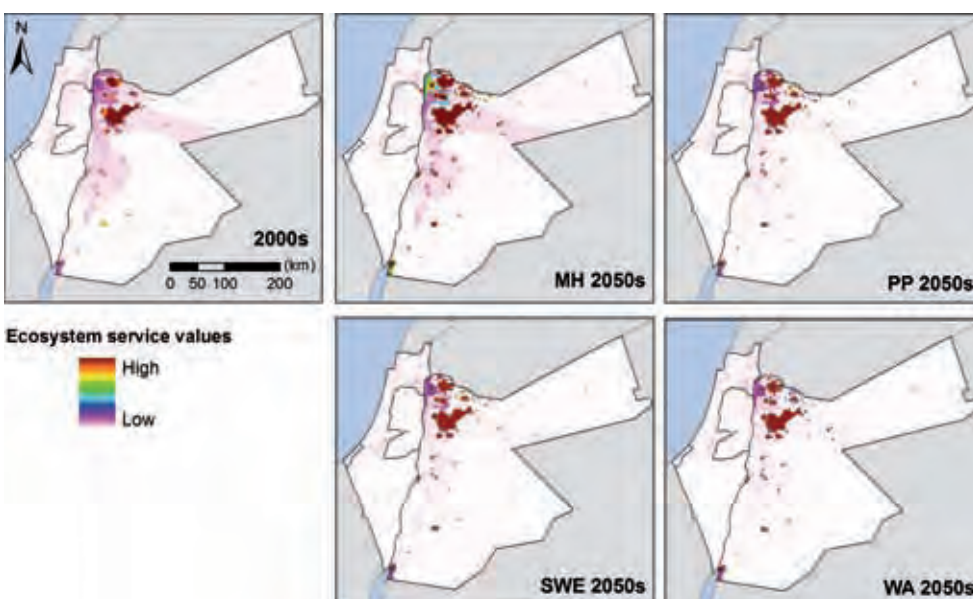


**Abbildung 6**  
 Folgen von Klimawandel auf die Biodiversität (TIELBÖRGER et al. 2011)

Eine Gruppe von Wissenschaftlern aus Bochum (Bernd Marschner), Nablus, Bethlehem, Amman und Jerusalem präsentierte eine GIS-basierte Standortbewertung für Bewässerung mit Abwasser, welche fünf Risiken berücksichtigt: die Mobilisierung anorganischer absorbierbarer Schadstoffe (z.B. Schwermetalle), Bodenversalzung, Kalklöschchen der oberen Schichten, Bor-Mobilisierung und die Mobilisierung nichtlöslicher Stoffe. Eine derartige Karte (SCHACHT 2011) kann zur Unterstützung von Entscheidungen zur Eignung von Abwasserbewässerung verwendet werden und ist, wie alle räumlich-expliziten Modellergebnisse, Teil des GLOWA Jordan River Atlas (s.u.).

**Abbildung 7**

Veränderung der Landnutzung für jedes regionale Entwicklungsszenario (MH – Modes Hopes Szenario, PP – Poverty and Peace, SWE – Suffering of the Weak and the Environment, WA – Willingness and Ability). Die Simulationen zeigen eine große Differenz zwischen den einzelnen regionalen Entwicklungsszenarien (SCHALDACH et al. 2011).

**Abbildung 8**

Veränderung der Ökosystemdienstleistungen je nach regionalem Entwicklungsszenario. Als Input dienten die Ergebnisse aus den sozioökonomischen Analysen (s.o.) (SCHALDACH et al. 2011).

Datenbank dieser Art in der Region. Die Nutzer können Karten, Grafiken, Bilder und Daten betrachten und eine Reihe von Zusatzinformationen und Originalquellen herunterladen. Der Atlas wurde von den Akteuren begeistert aufgenommen und dessen Bedeutung für einen überregionalen Dialog herausgestellt. Die Daten und dazugehörigen Erklärungen sind leicht verständlich dargestellt. Der Atlas wurde mit der Open Source Software Geopublisher erstellt.

Insgesamt hat die Tagung gezeigt, dass ein überregionaler Dialog im Wasser- und Landmanagement in den Zeiten des Globalen Wandels unbedingt notwendig ist, um die Wasserkrise in der Region zu bewältigen. Gleichzeitig hat das GLOWA Jordan River Projekt demonstriert, dass ein solcher Dialog, welcher Wissenschaftler und Akteure einschließt, wirklich möglich ist. Nach 10 Jahren Vertrauensbildung ist unter deutscher Leitung ein Forum für einen Dialog zum regionalen Ressourcenmanagement entstanden. Die Bedeutung der Aufrechterhaltung dieses Forums wurde daher einhellig und nachdrücklich von allen wichtigen Akteuren aus den Ministerien der drei Länder betont.

**Anschrift der Verfasserinnen:**

Dr. Cornelia Claus  
 Prof. Dr. Katja Tielbörger  
 Universität Tübingen,  
 Vegetationsökologie  
 Auf der Morgenstelle 3,  
 72076 Tübingen  
 coordination@glowa.uni-tuebingen.de

**Projektergebnisse leicht verfügbar machen**

Cornelia Claus und Andreas Braun aus Tübingen stellten den digitalen GLOWA Jordan River Atlas vor, in welchem vor allem die räumlichen Ergebnisse des Projektes kompiliert, präsentiert und online zugänglich gemacht werden (<http://www.glowa-jordan-river.de/OurProducts>). Der Atlas ist somit die erste überregionale

**Literaturverzeichnis**

BONZI, C., H. HOFF & B. JOYCE (2011): Integrating WEAP modeling activities in GLOWA Jordan River. – Vortrag in der "Session Introduction". GLOWA Jordan River Final Conference, 5–7 September, Limassol, Cyprus

- LANGE, J., A. GUNKEL, A. HARTMANN, A. VIVO, S. SHADEED & D. BASTIAN (2011): The Lower Jordan River Catchment: A View on Actual and New Water Resources. – Vortrag in der "Session Research Highlights". GLOWA Jordan River Final Conference, 5–7 September, Limassol, Cyprus
- MENZEL, L., M. STRAKOVÁ & T. TÖRNROS (2011): Regional Water Resources. – Vortrag in der „Session Research Highlights“. GLOWA Jordan River Final Conference, 5–7 September, Limassol, Cyprus
- ONIGKEIT, J., P. ALPERT, M. GRAMBERGER, A. JAYYOUSI, E. KARABLIEH, R. SAMUELS, K.H. SIMON, K. TIELBÖRGER, K. TIELEMAN, R. TWITE & GLOWA JORDAN STAKEHOLDERS (2011): Scenarios for the future of the Jordan River water resources. – Vortrag in der "Session Introduction". GLOWA Jordan River Final Conference, 5–7 September, Limassol, Cyprus
- SCHACHT, K., S. GÖNSTER, E. JÜSCHKE, Y. CHEN, J. TARCHITZKY, J. AL-BAKRI, E. AL-KARABLIEH & B. MARSCHNER (2011): Evaluation of soil sensitivity towards irrigation with treated wastewater in the Jordan River region. – Water 2011. – Special issue: Water Recycling and Reuse (accepted)
- SCHALDACH, R., J. KOCH, M. SHECHTER, I. KAN, A. FLEISCHER, A. SALMA & T. KARABLIEH E HIJAWI (2011): Integrating Modeling of Land Use Change and Environmental Impacts. – Vortrag in der "Session Research Highlights". GLOWA Jordan River Final Conference, 5–7 September, Limassol, Cyprus
- SMIATEK, G., H. KUNSTMANN, H. HECKL, R. SAMUELS, S. KRICHAK & A. ALPERT (2011): Climate Change Simulations for the Jordan River Area. – Vortrag in der "Session Research Highlights". GLOWA Jordan River Final Conference, 5–7 September, Limassol, Cyprus
- TIELBÖRGER, K., M. STERNBERG, J. KIGEL, F. JELTSCH, D. MALKINSON, R. PRASSE, S. ORAN, C. HOLZAPFEL, K. GEISSLER, M. KÖCHY, I. KONSENS, E. LEBRIJA-TREJOS, P. LIANCOURT, J. METZ, M. BILTON, W. SIEWERT, M.-T. LUTZ, S. HÄNEL, D. HAREL, S. BANGERTER & H. PARAG (2011): Water in terrestrial ecosystems under climate and land use change. – Vortrag in der "Session Research Highlights". GLOWA Jordan River Final Conference, 5–7 September, Limassol, Cyprus

# Tagungsbericht

## Statusseminar Arzneistoffe in der Umwelt Workshop on Pharmaceuticals in the Environment

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) veranstaltete in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) am 7. und 8. September 2011 ein Fachseminar zum Thema „Arzneistoffe in der Umwelt“. Rund 150 Vertreter aus Behörden und Institutionen folgten der Einladung nach Dresden.

In seiner Begrüßung gab der Präsident des Sächsischen Landesamtes, Norbert Eichkorn, seiner Hoffnung Ausdruck, dass neue wissenschaftliche Erkenntnisse Anregungen für die weiteren Untersuchungen im LfULG geben werden. Dabei wies er auf die im Amt bestehenden Synergieeffekte zwischen Umwelanforderungen und landwirtschaftlichen Nutzungen hin. Letztlich gab die Anregung des Sächsischen Landesbauernverbandes, sichere Aussagen zur Belastungssituation in Sachsen und praktische Hinweise für die Landwirte zur Verfügung zu stellen, den Ausschlag, sich der Thematik der Arzneistoffe ganzheitlich im Rahmen eines Statusseminars zu widmen.

Arzneistoffe stehen bereits seit geraumer Zeit im Fokus der Betrachtung. Der zunehmende Einsatz von Arzneistoffen in der Human- und Veterinärmedizin lässt sich immer häufiger in der Umwelt nachweisen. Der Griff zu Spritze und Pille ist auch für den Landwirt in der modernen Tierhaltung unverzichtbar geworden.

Dr. Katharina Kern vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig charakterisierte in ihrem Überblick über die rechtlichen Grundlagen Arzneistoffe als potentielle Umweltschadstoffe, die infolge der bestimmungsgemäßen Verwendung als Ausscheidungsprodukt, aber auch durch fehlerhafte Entsorgung und somit über viele Eintragswege wie Kläranlagen, Weidetierhaltung, Gülledüngung etc. in Gewässer, Boden und Grundwasser gelangen. Der Haupteintrag stammt dabei aus der Humanmedizin aufgrund der gegenüber der Tiermedizin wesentlich größeren Verbrauchsmengen. Das Arzneimittelkontrollrecht anerkennt die von Arzneistoffen ausgehende Umweltgefahr, indem es einige umweltrelevante Regelungen enthält. Neu auf den Markt kommende Human- wie Tierarzneimittel sowie grundsätzlich Generika und bibliographische Zulassungen müssen zur Erlangung einer Zulassung eine Umweltrisikobewertung durchlaufen. Alte Arzneistoffe, die bereits auf dem Markt sind, werden hingegen nicht auf ihre Umweltauswirkungen hin geprüft, obwohl gerade sie es sind, die in der Umwelt gefunden werden. Bei Humanarzneimitteln bietet sich keine Möglichkeit, effektive Risikominderungsmaßnahmen zu verhängen, da laut Gesetz festgestellte Umweltrisiken keinen Einfluss auf die Zulassungserteilung haben dürfen. Ist das Medikament einmal auf dem Markt, werden nach der Zulassung auftretende Umweltrisiken weder gesucht oder erfasst, noch haben sie einen Einfluss auf die erteilte Zulassung.

Demgegenüber können seit 2005 bei Tierarzneimitteln die Zulassung infolge eines festgestellten Umweltrisikos verweigert und strenge Risikominderungsmaßnahmen festgesetzt werden. Probleme bestehen hier aber im Hinblick auf die Verbindlichkeit

der Risikominderungsmaßnahmen für die Anwender (Tierarzt, Tierhalter) sowie bezüglich der Kontrolle ihrer Einhaltung durch Behörden, die bislang nicht erfolgt. Die Nachmarktkontrolle dient im Tierarzneimittelrecht ausdrücklich der Sammlung von potenziellen Umweltproblemen und nach der Zulassung festgestellte Umweltrisiken können sogar eine Änderung oder Aufhebung der Zulassung des Tierarzneimittels bewirken. Allerdings bestehen große systemimmanente Defizite in der Erfassung von Umweltrisiken in der Nachmarktkontrolle, da die üblichen Erkenntnisgewinnungsmethoden (z.B. Meldung einer Nebenwirkung durch den Tierarzt) bei der Feststellung von Umweltrisiken (Ist der Arzneistoff in die Umwelt gelangt? Welche Wirkung entfaltet er?) nicht greifen. Hier sind staatliche Monitoringprogramme oder erweiterte Datenaktualisierungspflichten der pharmazeutischen Unternehmer erforderlich.

Prof. Dr. Jörg Oehlmann vom Institut für Ökologie, Evolution und Diversität der Universität Frankfurt am Main erläuterte die ökotoxikologische Bedeutung von Arzneistoffen. Arzneistoffe sind in der Umwelt zwar weit verbreitet, wie jedoch die Beispiele selbst sehr gut untersuchter Substanzen wie Diclofenac, Ethinylestradiol oder Carbamazepin zeigen, sind ihre ökotoxikologischen Effekte bisher nur unzureichend charakterisiert. Besonderheiten der Arzneistoffe, wie ihre geringe Akuttoxizität, hohe biologische Wirksamkeit, oft geringe Abbaubarkeit und die daraus resultierende lange Verweildauer im Ökosystem mit der Gefahr von Langzeiteffekten im niedrigen Konzentrationsbereich, werden bisher bei der ökotoxikologischen Testung zu wenig berücksichtigt. Dies gilt namentlich für die so genannte Cocktailproblematik, also das gleichzeitige Auftreten von unterschiedlichen Arzneistoffen mit gleichen Zielmolekülen im Organismus, die sich damit hinsichtlich ihrer Effekte additiv verhalten (z.B.  $\beta$ -Blocker). Ferner werden Arzneistoff-Metaboliten bisher nicht im Testprogramm systematisch berücksichtigt. Es bleibt festzuhalten, dass das in der Richtlinie der Europäischen Arzneimittel Agentur (EMA) vorgesehene ökotoxikologische Testprogramm nicht in der Lage gewesen wäre, eines der Arzneimittel, die heute als ökotoxikologisches Problem gelten, zu identifizieren, so dass es zweifelhaft erscheint, mit der vorgesehenen Teststrategie zukünftige Problemstoffe zu detektieren. Insgesamt ergibt sich aus den vorliegenden Befunden zur ökotoxikologischen Bedeutung von Arzneistoffen die Notwendigkeit von Risikominderungsstrategien.

Anschließend stand der erste Tag ganz im Zeichen einer Bestandsaufnahme zum Vorkommen von Arzneistoffen in der Umwelt. Ausgehend von den Befunden aus den Belastungsquellen Gülle und Abwasser wurden Befunde in Boden, Gewässern und im Trinkwasser dargestellt.

Gudrun Hanschmann aus der Sächsischen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft stellte die Entwicklung einer Methode zur Antibiotikabestimmung in Gülle vor, die derzeit 10 Sulfonamide, 4 Tetracycline, 4 Macrolide sowie ein Pleuromutilin und ein Diaminopyrimidin bei Wiederfindungen zwischen 40 und 70 % bestimmen kann. Die Bestimmungsgrenzen liegen zwischen 10 und 30  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Mit dieser Methode wurden 2010 und 2011 insgesamt 58 sächsische Güllen untersucht. Die Güllen

in 2010 waren Zufallsproben, die in 2011 stammten aus 22 ausgewählten sächsischen Rinder- und Schweinezuchtbetrieben auf freiwilliger Basis. 35 % dieser Proben enthielten detektierbare Rückstände obiger Antibiotika mit einem Maximalgehalt von 1 mg/kg Frischsubstanz. Prozentual am häufigsten wurden die Tetracycline gefunden, gefolgt von Tiamulin, einem Pleuromutilin. Diese ersten Ergebnisse sind zusammen mit Literaturkenntnissen Anlass für ein Projekt am LfULG zum Thema „Antibiotika aus der Nutztierhaltung in der Umwelt“.

Dr. Uwe Engelmann und Sylvia Rohde vom LfULG präsentierten Untersuchungsergebnisse für über 60 Arzneistoffverbindungen in Abwässern sowie in Oberflächen- und Grundwasser in Sachsen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass viele Arzneistoffe Belastungen der Gewässer verursachen. Ihre Relevanz ist jedoch differenziert zu betrachten. Nur 24 der untersuchten Arzneistoffe können gegenwärtig in Sachsen eindeutig als nicht gewässerrelevant eingestuft werden. Hohe Konzentrationen eines Arzneistoffes im Abwasser bedingen in der überwiegenden Zahl der Fälle auch entsprechende Messergebnisse im Gewässer. Für die 8 Arzneistoffe Diclofenac, Ibuprofen, Carbamazepin, 17 $\alpha$ -Aethinyloestradiol,  $\beta$ -Sitosterol, Sulfamethoxazol, Ciprofloxacin und Erythromycin gibt es Überschreitungen der gewässerbezogenen Qualitätskennwerte in Kläranlagenabläufen und in Fließgewässern.

Für das Schmerzmittel Diclofenac und das Antiepileptikum Carbamazepin wurden in allen untersuchten Kläranlagenabläufen Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze gefunden und die Streuung der Konzentrationswerte ist vergleichsweise gering. Die abgeleiteten Emissionsfaktoren für Diclofenac von 462  $\mu\text{g}/\text{EW d}$  und für Carbamazepin von 349  $\mu\text{g}/\text{EW d}$  ermöglichen eine Abschätzung der Einträge dieser beiden Arzneistoffe aus Kläranlagen in Gewässer.

Für Carbamazepin wird sowohl im Abwasser als auch im Gewässer ein rückläufiger Trend beobachtet.

Neben den ökotoxikologischen Wirkungen der Arzneistoffe sind die 3 antibiotisch wirksamen Stoffe Sulfamethoxazol, Ciprofloxacin und Erythromycin in der aquatischen Umwelt bedenklich, da sie möglicherweise die Ausbreitung der Antibiotikaresistenz von Krankheitserregern begünstigen wird. Die genannten Stoffe werden als relevant angesehen.

Für untersuchte Arzneistoffe, für die es bisher keine Qualitätskennwerte gibt, wurde eine Einschätzung ihres Umweltvorkommens mit einem Prüfwert von 0,1 mg/L in Analogie zu den Trinkwasservorgaben vorgenommen. Für die 9 Arzneistoffe Indometacin, Primidon, Oxcarbazepin, Mestranol, Dehydrato-Erythromycin A, Clotrimazol, Iopamidol, Amidotrizoat und Iomeprol gibt es Überschreitungen dieses Prüfwertes in Kläranlagenabläufen und in Fließgewässern. Für diese Stoffe sollten vorrangig Qualitätsnormvorschläge erarbeitet werden.

Die statistische Auswertung der Abwasseruntersuchungen zeigt bei als relevant eingestuften Arzneistoffen keinen wesentlichen Unterschied zwischen großen, mittleren und kleinen Kläranlagen. Das heißt, der Ausbau von Kläranlagen mit weitergehender Reinigungsstufe lässt keine wesentliche Verbesserung der Eliminierung der abwasserrelevanten Arzneistoffe erkennen.

Im Grundwasser liegen ebenfalls Untersuchungsergebnisse für Arzneistoffe vor. Neben Carbamazepin gibt es insbesondere für Primidon Positivbefunde.

Dr. Uwe Dünnbier berichtete als Vertreter der Arbeitsgemeinschaft der Wasserversorger im Einzugsgebiet der Elbe (AWE) von den Zielen und Arbeiten der Gemeinschaft. Um naturnahe Aufbereitungsverfahren nutzen zu können, setzt sich die AWE für die Verbesserung der Wasserqualität der Elbe ein. Es ist bekannt, dass Primidon, Carbamazepin und Sulfamethoxazol die Barrieren der Wasseraufbereitung überwinden. Er betonte aber, dass bisher keine Arzneistoffkonzentrationen in Trinkwasser festgestellt werden, von denen ein gesundheitliches Risiko ausgeht. Unabhängig davon gilt es, das Minimierungsgebot der Trinkwasserverordnung durchzusetzen. Von den Wasserversorgern wird ein Zielwert für das Rohwasser nach Uferfiltration je Arzneistoff von 0,1  $\mu\text{g}/\text{L}$  vorgeschlagen. Aus den Arzneistoffen entstehen durch technische und natürliche Prozesse Transformationsprodukte, die hinsichtlich ihrer Schadwirkung umfassend betrachtet werden müssen.

Dr. Heinrich Höper vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Hannover berichtete über die in Niedersachsen seit 1998 erfolgten Studien zum Vorkommen von Tierarzneimittelwirkstoffen in organischen Düngemitteln, Böden und Boden- bzw. Grundwasser. Vor allem in Schweinegülle wurden in relativ hoher Frequenz Tetracycline und Sulfonamide, hier v.a. Sulfamethazin und Sulfadiazin, gefunden. Die Medianwerte der Positivproben (Werte über Bestimmungsgrenze) lagen bei allen Wirkstoffen zwischen 3 und 7 mg/l, wobei zwischen 1 und 57 % der untersuchten 340 Proben Positivproben waren. In einem Screening auf 19 mit Schweinegülle beaufschlagten Böden wurden Sulfamethazin, Tetracyclin und Chlortetracyclin nachgewiesen. Auf 2 Standorten wurden Tetracyclinegehalte im Oberboden von > 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$  festgestellt. Auf einer Boden-Dauerbeobachtungsfläche werden seit 2000 steigende Tetracyclinegehalte im Boden beobachtet. Dies deutet auf einen laufenden Eintrag des Wirkstoffs und seine Persistenz im Boden hin. Saugsondenuntersuchungen zur Stoffverlagerung mit dem Sickerwasser bestätigen allerdings die geringe Mobilität der Tetracycline. Während diese nicht im Sickerwasser beobachtet werden, findet man Sulfamethazin mit bis zu 0,2  $\mu\text{g}/\text{l}$ , wobei die Konzentrationen seit 2003 auf derzeit maximal 0,07  $\mu\text{g}/\text{l}$  abgenommen haben. Die erhöhte Mobilität von Sulfamethazin, u.a. im Vergleich mit Sulfadiazin, bestätigt sich in Lysimeterversuchen mit Ausbringung dotierter Gülle. Es zeigt sich allerdings auch, dass weniger als 0,1 % der ausgebrachten Wirkstoffmenge der Auswaschung unterliegen, dass also ein Großteil offensichtlich an Bodenpartikeln adsorbiert wird.

Offene Fragen bestehen hinsichtlich der Belastungssituation von Geflügelmist bzw. -gülle, einer potenziellen Remobilisierung im Boden gebundener Tierarzneimittelrückstände, einer potenziellen Aufnahme von Wirkstoffen durch Kulturpflanzen sowie hinsichtlich des zunehmenden Einsatzes von Kupfer und Zink haltigen Präparaten in der Tierhaltung und dessen Auswirkungen auf den Boden.

Dr. Annegret Hembrock-Heger vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen stellte die Untersuchungsergebnisse für Tierarzneimittel in Gülle, landwirt-

schaftlich genutzten Böden und oberflächennahem Grundwasser in Nordrhein-Westfalen vor. Zur Einschätzung des Vorkommens von Tierarzneimittelrückständen wurden 2008 an 21 Standorten in Nordrhein-Westfalen mit Gülle gedüngte Böden und oberflächennahes Grundwasser aus dem Einzugsbereich dieser Flächen auf Rückstände der Tierarzneimittel aus den Wirkstoffgruppen Tetracycline, Sulfonamide und Fluorchinolone untersucht. In den Böden konnten Sulfonamide und Fluorchinolone nicht nachgewiesen werden. Dagegen waren Tetracycline in 12 Oberböden mit maximalen Gehalten von 13,6 µg Oxytetracyclin/kg, 44,4 µg Chlortetracyclin/kg sowie 38,6 µg Tetracyclin/kg nachweisbar. Eine Verlagerung von Tetracyclinen aus dem Oberboden in tiefere Bodenschichten (30–60 cm Tiefe) wurde an drei Standorten festgestellt. In den Proben aus 60–90 cm Tiefe wurden keine Tetracycline gefunden. In den Grundwasserproben konnten Tetracycline und auch Fluorchinolone nicht nachgewiesen werden; lediglich eine Probe enthielt einen Wirkstoff aus der Gruppe der Sulfonamide, Sulfamethoxazol. Auf der korrespondierenden landwirtschaftlichen Fläche konnte kein Wirkstoff aus der Gruppe der Sulfonamide nachgewiesen werden.

In den 2009 untersuchten 34 Gülle-Proben aus NRW wurden Tetracycline, Sulfonamide und Fluorchinolone nachgewiesen, dabei waren die Sulfadimidin-Gehalte mit 0,94 mg/kg TS (Median der belasteten Proben) am höchsten.

Zum Abschluss des ersten Tages stelle Dr. Thomas Ternes von der BfG Koblenz neue wissenschaftliche Erkenntnisse zum Vorkommen von Arzneistoffen in der Umwelt vor. Die Belastung der Gewässer mit Arzneimittelwirkstoffen ist direkt mit dem Anteil an gereinigtem Abwasser in den Fließgewässern korreliert. Die Zunahme der erkrankten Schweinegrippepatienten während der Epidemie im Jahr 2009 führte im Rhein zu einem Konzentrationsanstieg an Oseltamivircarboxylat, dem aktiven Metaboliten des Antivirenmittels Oseltamivir. Über das Verhältnis von ausgeschiedenen Metaboliten und Ausgangssubstanz konnte zudem ein Eintrag von Oseltamivir in den Rhein durch einen Produzenten nachgewiesen werden.

Im Vortrag wurde aufgezeigt, dass in der Nitrifikation einer kommunalen Kläranlage ausgewählte Arzneistoffe wie Codein, Morphin, Acyclovir oder die nicht-ionischen iodierten Röntgenkontrastmittel zwar biotisch und abiotisch transformiert, aber nicht zu CO<sub>2</sub> und Wasser mineralisiert werden. Vielmehr entstehen mehrere stabile hoch polare Transformationsprodukte (TPs), die in die Gewässer emittiert werden. Da die chemischen Strukturen in den meisten Fällen nur geringfügig verändert waren, ist davon auszugehen, dass die meisten TPs noch biologisch aktiv sind. Der „Nicht-Nachweis“ einer Substanz reicht nicht für eine Entwarnung. Die persistenten und/oder toxischen TPs sind zur Bewertung zu berücksichtigen. Als Konsequenz sollten die aktuellen Monitoringprogramme der Oberflächengewässer um relevante TPs ergänzt werden.

Aufgrund der erhöhten Polarität der TPs werden sie im Grund- und auch im Trinkwasser im ng/L-Bereich nachgewiesen. Die Anwesenheit des iodierten Röntgenkontrastmittels Iopamidol führte bei der Chlorung von Trinkwasser zu einem verstärkten Anstieg der DNA-Schäden bei chinesischen Hamstero-varienzellen im Vergleich zur Kontrolle. Vermutlich wird dies zumindest teilweise durch die Abspaltung von Iodid und die Bildung von

iodierten Trihalomethanen hervorgerufen. Dies ist ein weiteres Beispiel dafür, dass starke Oxidationsprodukte „untoxische“ Verbindungen in „toxische“ Verbindungen überführen können.

Nach der Darstellung der Umweltauswirkungen der Arzneimittelrückstände am zweiten Tage Minimierungsstrategien insbesondere im landwirtschaftlichen Bereich im Mittelpunkt der Vorträge.

Ina Ebert vom Umweltbundesamt stellte aus regulatorischer Sicht Umweltauflagen an Risikominderungsmaßnahmen vor. Das Umweltbundesamt ist bei Auflagen zum Schutz der Umwelt einzubeziehen. Risikominderungsmaßnahmen sind erforderlich, um den Eintrag von Arzneimittelrückständen in die Umwelt zu vermeiden oder auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. Im Rahmen der Arzneimittelzulassung können solche Minderungsmaßnahmen beauftragt werden. Diese richten sich bei Tierarzneimitteln vor allem an Tierärzte und Tierhalter und müssen effektiv, praktikabel, verifizierbar und rechtmäßig sein. Für Humanarzneimittel sind entsprechende Maßnahmen im Rahmen der Arzneimittelzulassung sehr beschränkt umsetzbar. Hier sind Aktivitäten in verschiedenen anderen Bereichen notwendig wie z.B. in der Arzneimittelentwicklung, bei der Verschreibung und Anwendung, bei der Entsorgung sowie in der Siedlungswasserwirtschaft. Um die Situation zu verbessern und den Eintrag von Arzneimittelrückständen in die Umwelt nachhaltig zu reduzieren, sind Maßnahmen auf allen Handlungsebenen nötig. Dabei spielt insbesondere die Kommunikation zwischen den verschiedenen Akteuren wie Behörden und Tierhaltern oder Landwirten eine große Rolle. Aber auch das Problembewusstsein bei Ärzten, Apothekern und Patienten muss weiter geschärft werden.

Prof. Werner Handrick plädierte für den rationalen Einsatz von Antibiotika in der Humanmedizin. Aktivitäten dazu gehen in Deutschland u.a. von verschiedenen wissenschaftlichen Gesellschaften aus. Leitlinien werden vor allem von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften erarbeitet. Infolge des Anstiegs der Rate resistenter Infektionserreger gibt es verschiedene aktuelle Aktivitäten z.B. zur Änderung des Infektionsschutzgesetzes. Ein Problem besteht darin, mit diesen Bemühungen die Antibiotika verordnenden Ärzte zu erreichen. Etwa 80 % aller Antibiotika werden im ambulanten Bereich verordnet. Dabei gibt es in Deutschland große regionale Unterschiede. Sachsen gehört zu den Bundesländern mit dem niedrigsten Verbrauch. Dies dürfte auch auf die langjährigen Bemühungen zur Durchsetzung eines rationalen Einsatzes von Antibiotika in den 80er Jahren in der Region zurückzuführen sein. Um die gegenwärtig günstige Situation in Sachsen zu erhalten bzw. noch zu verbessern, bedarf es weiterer Bemühungen in der Aus- und Fortbildung der Ärzte.

Der Vortrag von Prof. Dr. Lothar Kreienbrock von der Tierärztlichen Hochschule Hannover beschäftigte sich mit der Erfassung des Antibiotikaverbrauchs auf der Grundlage von Verminderungsstrategien in der Veterinärmedizin. Bisher zur Verfügung stehende Daten zum Antibiotikaverbrauch sind reine Mengenerfassungen. Dies ist jedoch nicht ausreichend. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wird ein Konzept für ein praktikables Erfassungssystem getestet. Dabei werden Tierarztpraxen und Landwirtschaftsbetriebe eingebunden. Erhebungsgrundlagen waren der Arzneimittelanwendungs- und -abgabebeleg und das Bestandsbuch. Die Daten wurden in einem zentralen Datenbank-



system mit spezieller Eingabemaske erhoben. Die Dateneingabe kann direkt vor Ort online erfolgen oder lokal mit anschließender verschlüsselter E-Mail-Übergabe. Die Angaben wurden nach pharmakologischen und epidemiologischen Schwerpunkten ausgewertet. So konnten die Zahl der Einzelgaben und die Häufigkeiten der Erkrankungen nach Tierarten aufgelistet werden. Ziel ist, verlässliche Angaben zur Therapiehäufigkeit in verschiedenen Tierarten, Altersgruppen und Nutzungsrichtungen und zum Antibiotikaeinsatz in Deutschland zu erhalten. In 2011 hat eine Pilotstudie in 8 Landkreisen aus allen Regionen Deutschlands begonnen.

Dr. Gerhard Kreher, Fachtierarzt für Rinderkrankheiten in Bad Liebenwerda, berichtete über die Verminderung des Antibiotikaverbrauchs in der tierärztlichen Praxis. Zahlen zum Verbrauch von Tierarzneimitteln in der Bundesrepublik Deutschland basieren gegenwärtig vor allem auf Schätzungen. Mit Beginn des Jahres 2012 werden alle Hersteller und Großhändler verpflichtet, die Absatzzahlen regional nach festgelegten Wirkstoffen zu erfassen und an ein Tierarzneimittelverbrauchsregister zu melden.

Von den etwa 700 t verbrauchten Antiinfektiva pro Jahr in der deutschen Tiermedizin erfolgt eine Kontamination der Umwelt über die normalen Stoffströme, aber auch durch direkten Antibiotikaeinsatz in der Pflanzenproduktion und Fischzucht als auch durch unsachgemäße Entsorgung. Die Entwicklung der Resistenzsituation in der Human- und Veterinärmedizin erfordert eine Reduzierung und einen verantwortungsbewussten Einsatz der Antibiotika.

Grundlage des Einsatzes von Antibiotika in der Tiermedizin sollten generell die Antibiotika-Leitlinien der Bundestierärztekammer und der Arbeitsgruppe Tierarzneimittel sein.

Es wurden Praxisbeispiele zur Minderung des Verbrauchs aus der Schweine- und Rinderpraxis dargestellt. Die Tilgung wichtiger Infektionskrankheiten in der Schweineproduktion durch den Aufbau von Herden mit Hochgesundheitsstatus hilft, zu einer enormen Reduzierung des Antibiotikaverbrauchs beizutragen und sollte staatlicherseits finanziell gefördert werden. In der Rinderproduktion sollte über die Verbesserung der Haltungs- und Fütterungshygiene, des Gesundheitsmanagements und über eine gezielte Immunprophylaxe der Antibiotikaeinsatz gesenkt werden. Einsparpotenzial gibt es in allen Nutztierpraxen.

Dr. Thimo Albert vom Zentrum für Veterinary Public Health des Instituts für Lebensmittelhygiene, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig informierte über die Überwachung tierischer Produkte im Bereich der Lebensmittelüberwachung. In die Umwelt freigesetzte Arzneistoffe können prinzipiell wieder in die Nahrungskette gelangen und somit eine Gesundheitsgefahr für den Verbraucher darstellen.

Bei tierischen Produkten steht jedoch primär die Gefahr einer Rückstandsbildung durch direkte Medikamentenapplikation bei landwirtschaftlichen Nutztieren im Vordergrund. Konzepte zur Risikominimierung schließen im Veterinärbereich die gesamte Erzeugungskette ein. Minimierungsstrategien betreffen unter anderem die rechtlich geregelte Anwendung von Arzneimitteln bei Lebensmittel liefernden Tieren durch den Veterinär und Landwirt. Hinzu kommen zielgerichtete Probenuntersuchungen in der Pri-

märproduktion sowie die Analyse von unverarbeiteten Erzeugnissen (z.B. Fleisch, Milch, Eier, Honig) auf unerlaubte Rückstände sowie maximal tolerierbare Höchstmengen pharmakologisch wirksamer Substanzen. Die dabei erzielten Ergebnisse suggerieren, dass die Gesamtzahl an positiven Rückstandsbefunden von Tierarzneimitteln sich insgesamt auf einem niedrigen Niveau befindet. Einzelne Nachweise von gesetzlich verbotenen Substanzen sowie von Stoffen mit Höchstmengenüberschreitungen belegen jedoch die Notwendigkeit einer weiteren analytischen Überwachung tierischer Produkte. Dabei muss die Globalisierung im Lebensmittelbereich ebenso berücksichtigt werden wie Veränderungen im Bereich der Primärerzeugung, die vor allem auch die zunehmende Bedeutung von Produkten aus Aquakulturen betreffen. Regelmäßig können Arzneistoffe im aquatischen Lebensraum nachgewiesen werden. Auswirkungen auf entsprechende tierische Produkte sollten innerhalb zukünftiger Überwachungs- und Monitoring-Programme untersucht werden.

Prof. Dr. Uwe Rösler von der Freien Universität Berlin wies in seinem Vortrag auf einen weiteren Aspekt der Umweltgefährdung hin. In der Abluft und der Umgebung von Nutztierhaltungen werden zunehmend multiresistente Erreger nachgewiesen. Umfangreiche Untersuchungen bei verschiedenen Tierarten zeigten, dass es in der Stallumgebung zu Anreicherungen kommt. Darüber hinaus besteht die Gefahr des Austrags über die Gülle. Es wurden konsequente Hygienemaßnahmen und die Reduzierung von Antibiotikagaben für erforderlich erachtet.

Dr. Jörg Pöbneck vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie widmete sich dem Thema von Ausbringungsstrategien in der Güllepraxis. Gülle ist besonders wegen seiner Pflanzennährstoffgehalte an Stickstoff, Phosphor und Kalium ein wertvoller Dünger für den Pflanzenbau. Der ordnungsgemäße Gülleinsatz bringt dem Landwirtschaftsbetrieb ökonomische Vorteile und schont die Umwelt. Es wurde dargestellt, wie mit den Methoden und Werkzeugen des „Precision Farming“ eine Gülleausbringung vorbereitet und realisiert werden kann. Zur Vorbereitung der Gülleausbringung zählen u.a.

- die laboranalytische Untersuchung der Gülle auf Pflanzennährstoffe,
- die genaue Kenntnis der Verteilung der Bodenpflanzennährstoffgehalte auf einer landwirtschaftlichen Fläche,
- das Wissen über die auf einer landwirtschaftlichen Fläche differierenden Bodenqualitäten und
- die Wahl der richtigen Applikationswerkzeuge.

Auf diesen Grundlagen aufbauend werden mit Geografischen Informationssystemen GPS-basierte digitalisierte Gülleapplikationskarten erstellt, die auch die gesetzlich fixierten Regeln, wie z.B. Mengenbegrenzungen, berücksichtigen. Die Realisierung der Applikationskarten ist an Applikationstechnik mit moderner Steuerungstechnik gebunden. Die Vorbereitung und Umsetzung der Gülleausbringung im Rahmen des „Precision Farming“ bedarf einer umfassenden ingenieursseitigen Begleitung. Diese fachliche Unterstützung sichert Effekte für den Pflanzenbau und den nachhaltigen Umweltschutz.

Die Diskussionsergebnisse und die Vorschläge der Plenumsdiskussion fasste Heinz Gräfe, der ständige Vertreter des Präsidenten des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, wie folgt zusammen:

Insgesamt reichen die aktuellen Mechanismen des Arzneimittelrechts nicht aus, um die Umwelt vor gefährlichen Arzneistoffen zu schützen. Ziel muss es sein, den Eintrag von Arzneistoffen in die Umwelt zu begrenzen und umweltfreundlichere Arzneistoffe zu entwickeln. Dafür gibt es eine Vielzahl von Handlungsoptionen aus den Bereichen Produktkontrolle (effektive Berücksichtigung des Umweltrisikos auch bei Humanarzneimitteln, Altstoffprogramm), Anwendung (klare Befüllungsregelungen, vor-Ort-Kontrollen, Monitoring, artgerechte Tierhaltung) und Aufklärung (Umweltkennzeichen, Rückgabepflicht an Apotheke).

Viele mit modernster Technik und Methoden erhobene Untersuchungsergebnisse für Gülle, Böden, Kläranlagenabläufe und Gewässer liegen bereits vor. Die Datendichte ist jedoch noch unzureichend. Schwierig ist es, den Mix der verschiedenen Stoffe und ihrer Abbauprodukte zu beurteilen.

Die großen Wissenslücken über das Umweltverhalten von Altarzneistoffen lassen sich nur über eine systematische Altstoffkontrolle ausräumen. Einen ausreichenden Schutz vor umweltgefährlichen Arzneistoffen bietet es aber nicht. Die Bewertung möglicher Umweltrisiken erfordert für viele Altarzneimittel noch ökotoxikologische Untersuchungen, insbesondere zur Ableitung von Qualitätsnormvorschlägen für die einzelnen Umweltkompartimente. Zukünftig muss es umweltschützende Auflagen nicht nur für Tierpharmaka, sondern auch für die Humanpharmaka geben.

Die Teilnehmer des Statusseminars setzen sich daher für eine „Umweltabgabe“ auf jedes Arzneimittel ein. Diese finanziellen Mittel sollen eingesetzt werden, um die Auswirkungen auf die Umwelt schneller und umfassender zu untersuchen und Strategien zum Schutz der Ressourcen ausarbeiten zu können.

Darüber hinaus wurden erste Vorschläge für eine Verminderung der Einträge in die Umwelt aufgezeigt:

- Reduzierung des Arzneimittelabfallanfalls durch z.B. passgenaue Verschreibungspraxis
- Prüfung des Ausbaus von Kläranlagen mit Aktivkohlefilter oder Ozon-Behandlung
- sichere Abfallentsorgung durch z.B. Verbrennung
- Arzneimittel nicht über die Toilette entsorgen

- gezielte Information von Ärzten und Patienten über Umweltaspekte der Arzneimittelverwendung, z.B. durch Kennzeichnung von Arzneimittelpackungen und Hinweise zur Umweltrelevanz in den Beipackzetteln
- Schulungen für Ärzte und Apotheker über „Nebenwirkungen“ von Arzneimitteln auf die Umwelt
- zurückhaltender Einsatz von Antibiotika in der Human- und Veterinärmedizin
- Aufbau von Tierhaltungen mit Hochgesundheitsstatus
- Verbesserung der Haltings- und Fütterungshygiene und des Gesundheitsmanagements in der Tierhaltung
- Integrierte tierärztliche Bestandsbetreuung.

Viele Teilnehmer sprachen sich dafür aus, beim Umweltbundesamt eine übergreifende Arbeitsgruppe zur Thematik einzurichten und so den Wissenstransfer zu fördern.

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie wird für die nächsten Jahre ein Forschungsprojekt zum Thema: „Antibiotika aus der Nutztierhaltung in der Umwelt“ auflegen. Darin sind für 22 sächsische landwirtschaftliche Betriebe detaillierte Untersuchungen geplant, die den Weg von der Antibiotikagabe beim Tier über die Gülle bis hin zum Boden und ggf. in die Gewässer aufzeigen. Lysimeterversuche mit dotierter Gülle sollen darüber hinaus den Antibiotikatransfer in Boden, Wasser und Pflanze aufzeigen. Ein Ziel der Arbeiten ist es, ein Minimierungskonzept zur Reduzierung des Antibiotikaeinsatzes in Zusammenarbeit mit den Betrieben zu erstellen.

Die Vorträge können unter <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/9606.htm> angesehen werden.

Zusammengestellt unter Nutzung der Zuarbeiten der Referenten des Statusseminars.

#### **Anschrift der Verfasserinnen:**

Sylvia Rode  
Dr. Eveline Ullrich  
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Ref. 44 Oberflächen- und Grundwasser  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden  
[Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de](mailto:Sylvia.Rohde@smul.sachsen.de)

# Projektbericht

## Fahrwassertonnen als autarke Messstationen mit Datenfernübertragung Channel buoys as self-contained gauging stations with remote data transmission

Auf Binnenwasserstraßen sind Tonnen als Schifffahrtszeichen zur Markierung des Fahrwassers allgegenwärtig. Ihre gleichzeitige Verwendung als Messstation war bisher konstruktionsbedingt nicht möglich. Das hat sich durch die Einführung neuer Fahrwassertonnen geändert. Sie können durch geringfügige Umbauten auch für eine kontinuierliche Messung von Gütekenngößen mit Datenfernübertragung genutzt werden. Dabei wird ihre Funktion als vollwertiges Schifffahrtszeichen zur Markierung des Fahrwassers nicht beeinträchtigt. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) hat in Zusammenarbeit mit der Fachstelle der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung für Verkehrstechniken (FVT) und der Firma Ott Hydrometrie vier Fahrwassertonnen als Prototypen für den geplanten Einsatz in einem bundesweiten Messnetz mit Trübungssensoren ausgerüstet. Für eine andere Anwendung wurde eine weitere Tonne mit einem Strömungssensor bestückt.

Die Trübungsmessungen liefern nach entsprechender Kalibrierung stündlich aufgelöste Ganglinien der Schwebstoffkonzentration. Dadurch ergibt sich im Vergleich zur bisherigen Praxis einzelner täglicher Stichproben ein deutlicher Genauigkeitsgewinn. Besonders bei erhöhten Wasserführungen bis hin zu Hochwasserereignissen kommt es darauf an, den zeitlichen Verlauf der Konzentration gut abzubilden, denn sie machen zwar nur ca. 20 % der Zeit aus, liefern aber ca. 80 % der Schwebstofffracht.

Strömungssensoren an Fahrwassertonnen mit Ultraschall-Doppler-Technik erfassen kontinuierlich ein vertikales Strömungsprofil. Bei günstiger Lage der Tonne kann daraus in Kombination mit einem hydraulischen Modell der Durchfluss im gesamten Querschnitt berechnet werden.

### 1 Neue Binnenfahrwassertonnen aus Kunststoff

Tonnen sind Schifffahrtszeichen zur Markierung des Fahrwassers und von gefährlichen Stellen und Hindernissen in Wasserstraßen. Ihre jeweilige Funktion wird durch Form und Farbe festgelegt. Die gängigsten Typen sind die rote Stumpftonne zur Markierung der in Fließrichtung rechten Fahrinnenseite und die grüne Spitztonne zur Markierung der linken Fahrinnenseite. Gelbe Tonnen kennzeichnen gesperrte Wasserflächen. Die Tonnen sind meist mit einem Radarreflektor ausgerüstet und haben bei sensiblen Einsatzstellen zusätzlich ein Blinklicht, das sog. Taktfeuer. Herkömmliche Tonnen sind rund und aus Stahl gefertigt.

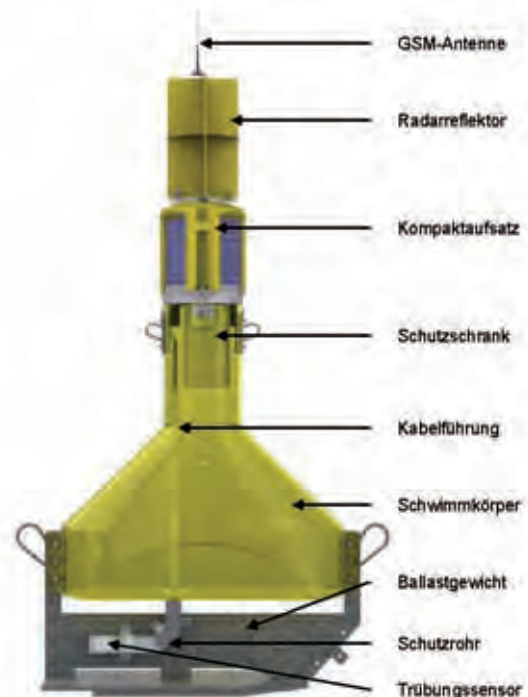
Die FVT hat einen neuen Bautyp entwickelt, die sogenannte „Ovaltonne B7“, die seit 2009 in Serie hergestellt wird. Ihre Form, die in Modellversuchen optimiert wurde, bietet gegenüber herkömmlichen, runden Tonnen Vorteile. Sie ist schwimmstabiler und kann Strömungsgeschwindigkeiten bis 4 m/s problemlos vertragen. Wellenschlag und Wellengang durch Schiffe werden gut aufgenommen. Beschädigungen durch Treibgut werden minimiert und ein moderater Eisgang wird ebenfalls schadlos überstanden.

Durch Verwendung des thermoplastischen Werkstoffs Polyethylen gibt es weitere Vorteile gegenüber herkömmlichen Stahltonnen. Die Oberfläche muss nicht lackiert werden, weil der Kunststoff durchgefärbt ist. Das Material hat eine hohe Festigkeit, ist unempfindlich gegen Stöße und beständig gegen Licht-, Witterungs- und Temperatureinflüsse.

Die wesentlichen Elemente der Ovaltonne B7 sind das Ballastgewicht, mit dem eine stabile Schwimmlage erreicht wird und der Tonnenkörper mit ausgeschäumtem Auftriebsfuß und zylindrischem Schacht mit integriertem Radarreflektor. Bei der Ausführung als Leuchttonne kommt ein Kompaktaufsatz mit Taktfeuer, Solarpaneelen, Solarregler und Speicherakku hinzu.

### 2 Umbau der Tonnen zur Nutzung als Messstation

Am Ballastgewicht wird der Sensor in einem Schutzrohr (Abb. 1) installiert. Das Sensorkabel wird durch den ausgeschäumten Fuß des Tonnenkörpers in den Tonnenschacht geführt, wo ein kleiner Schutzschrank eingebaut ist. Darin sind der Sensor-Controller, der Datensammler und ein GSM-Modem installiert. Über dem Tonnenschacht sitzen der modifizierte Kompaktaufsatz ohne Taktfeuer und darauf der Radarreflektor, an dem oben die GSM-Antenne befestigt ist (Der innen liegende Radarreflektor musste dem Schutzschrank weichen). Um den jetzt höheren Schwerpunkt wieder nach unten zu verlagern, musste zur Stabilisierung der Schwimmlage das Ballastgewicht mit weiteren Gewichtsplatten verstärkt werden. Die FVT berechnet das nötige Ballastgewicht und die Schwimmstabilität mit einem numerischen Programm. Es greift auf die im CAD-System (Computer Aided Design) generierten



**Abbildung 1**  
Umgebaute Fahrwassertonne zur Nutzung als Messstation mit Trübungssensor (Bild FVT)

Komponenten mit ihren physischen Eigenschaften (Volumen, Dichte, Massenträgheit) zurück. Dadurch wird eine optimale Schwimmstabilität der Tonne in Abhängigkeit der verwendeten Bauteile (Sensor, Speicherakku, ...) erreicht.

### 3 Energieversorgung

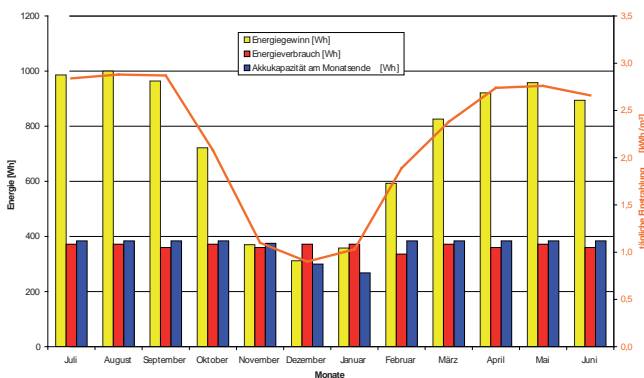
Die FVT hat ein Berechnungsverfahren entwickelt, mit dem Photovoltaiksysteme zur Energieversorgung von Schifffahrtszeichen dimensioniert werden können. Es simuliert den Jahresgang von Energiegewinn, Energieverbrauch und Akkukapazität zum jeweiligen Monatsende. Ein wesentliches Ergebnis ist die Überbrückungsdauer. Das ist die mögliche Betriebsdauer der Anlage ohne solaren Energiegewinn, für die aus Gründen der Betriebssicherheit meist 20 Tage angesetzt werden. Zur differenzierten Auslegung und Ertragsberechnung berücksichtigt das FVT-Programm lokale monatliche Werte der Solarstrahlung des „European Solar Radiation Atlas, E.S.R.A.“ an ausgewählten Stationen. Für den Anwender wurde das Verfahren als einfach handhabbares EXCEL-Arbeitsblatt mit dem Namen PVSIM programmiert. Ein Photovoltaiksystem besteht aus Solarmodulen, dem Laderegler und einem Akkumulator zum Puffern von Schwankungen im Energiegewinn und -verbrauch. Als Aufsatz für Fahrwassertonnen gibt es ein Kompaktsystem mit drei senkrechten Modulen zu je 8 W Spitzenleistung in einer rundum Anordnung.

Für die Simulation des jährlichen Betriebs einer Messtonne auf dem Rhein bei Koblenz wurden unter anderem folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Nächstgelegener Standort aus dem E.S.R.A.: Trier Süd
- Systemspannung: 12 V
- Nennleistung des Solargenerators: 24 Wp
- Reduzierung des Energiegewinns wegen der rundum Anordnung der Solarmodule: auf 70 %
- Kapazität des Speicherakkus: 32 Ah

Fordert man eine Dauerleistung von nur 0,5 W, dann ergibt die Simulationsberechnung eine Überbrückungsdauer von 20 Tagen. Erhöht man die Dauerleistung um nur 0,1 W auf 0,6 W, dann reduziert sich die Überbrückungsdauer auf drei Tage – zu kurz, um im Winter eine extreme Schlechtwetterphase ohne nennenswerten Energiegewinn mit Akkustrom auszugleichen.

Der Akku kann für den Tag-Nacht Ausgleich und zur Überbrückung von wetter- oder störungsbedingten Zeiten ohne Energie-



**Abbildung 2**  
Monatliche Energiebilanz einer Messtonne mit 0,5 W Dauerleistung

gewinn genutzt werden. Die mögliche Leistungsaufnahme der Verbraucher wird vom lichtärmsten Monat bestimmt. Für einen jahreszeitlichen Ausgleich ist ein Speicherakku mit 32 Ah zu klein. Größere Akkus sind auf einer Fahrwassertonne aus Platz- und Gewichtsgründen jedoch nicht einsetzbar. Die Messanlage muss also mit nur 0,5 W Dauerleistung auskommen.

### 4 Messeinrichtungen

#### 4.1 Messstation mit Trübungssensor

Trübung ist die Bezeichnung für eine optische Erscheinung in einer Flüssigkeit, die durch die Streuung des Lichtes an suspendierten Partikeln hervorgerufen wird. Das Ziel der Trübungsmessung in Flüssen ist, Aussagen über den Gehalt an streuenden Partikeln und damit über die Schwebstoffkonzentration zu erhalten.

Das Messsystem besteht aus einem Trübungssensor, der am Ballastgewicht der Tonne befestigt ist sowie aus der Auswerte- und Übertragungselektronik, die im Tonnenschacht untergebracht ist. Sie besteht aus einem Controller, einem Kompaktdatensammler und einem GSM-Modem für die Datenfernübertragung.

Als Trübungssensor kommt eine Tauchsonde aus dem Prozessmessbereich zum Einsatz. Das optische Messprinzip (90°IR-Streulicht; Messbereich 0 bis 4000 NTU) erfordert keine Kalibrierung, ist wartungsarm und damit sehr gut für den Langzeiteinsatz auch in großen Fließgewässern geeignet. Eventuelle Ablagerungen auf dem Messfenster werden durch einen automatischen Wischer zuverlässig beseitigt. Die Trübungssonde ist an einen Controller angeschlossen, der die Daten aufbereitet und an einen Kompakt-Datensammler übergibt.

Der Kompakt-Datensammler speichert die Messwerte und stellt sie über das angeschlossene GSM-Modem für die Datenfernübertragung zur Verfügung. Darüber hinaus ist er für das Energiemanagement der Station zuständig. Aufgrund des hohen Stromverbrauches kann weder die Trübungssonde mit zugehörigem Controller kontinuierlich betrieben werden noch das GSM-Modem. Daher schaltet der Kompakt-Datensammler die Trübungssonde einmal pro Stunde für die eigentliche Messung ein, für die Datenfernübertragung wird das GSM-Modem täglich einmal für 15 Minuten aktiviert. In dieser Zeit werden die Daten von dem wasserwirtschaftlichen Informationssystem WISKI/SODA, das in der WSV eingesetzt wird, automatisch abgerufen.

Die komplette Auswerte- und Übertragungselektronik ist wetterfest in einem Kunststoffschutzgehäuse (IP66) vormontiert, welches wiederum im Tonnenschacht eingebaut wird. Die Trübungssonde selbst ist in einem Rohr geschützt am Ballastgewicht der Messtonne montiert, das Sondenkabel wird durch den ausgeschäumten Fuß des Tonnenkörpers in den Tonnenschacht aufgeführt.

Abbildung 3 zeigt eine gelbe Messtonne vor dem Einsetzen und in Schwimmlage. Der Trübungssensor ist in dem gekrümmten Vierkantrohr am Ballastgewicht installiert. Mit den runden Scheiben vorn am Ballastgewicht wird die Tonne in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit und der Verankerung austariert. Beispielhaft sind in Abbildung 4 die Ganglinien der Trübung im Juni 2011 für vier Messstationen im Mittel- und Oberrhein sowie in der Untermosel und der Ems dargestellt.



**Abbildung 3**  
Einsetzen einer Messtonne mit Trübungssensor in der Ems bei Herbrum



**Abbildung 5**  
Messtonne mit Strömungssensor

**4.2 Messtation mit Geschwindigkeitssensor**

Der Aufbau der modifizierten Binnenfahrwassertonne ähnelt der Messtation mit Trübungssensor. Der Sensor zur Geschwindigkeitsmessung, ein wartungsfreies Ultraschallmesssystem, ist am Belastungsgewicht der Boje montiert (Abb. 5). Die Spannungsversorgung und ein GSM Modem zur Datenübertragung sind im Tonnenschacht verbaut und über ein Kabel mit dem Messsystem verbunden.

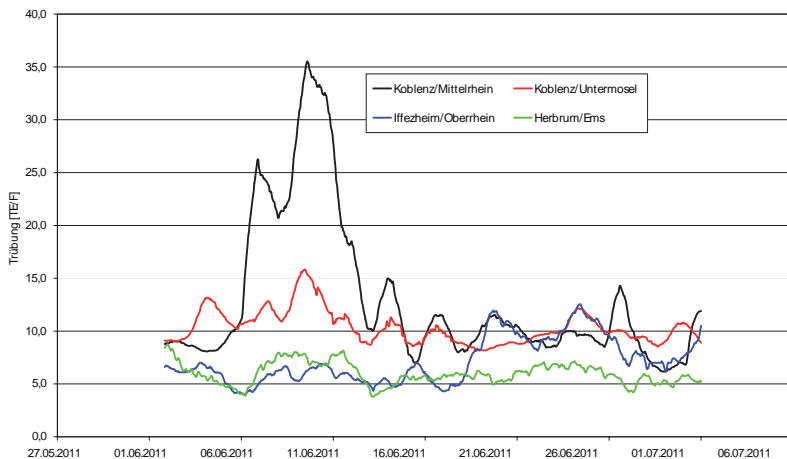
Der Ultraschall-Geschwindigkeitssensor ist ein System, das im Messboot OTT Qliner seit Jahren mit Erfolg eingesetzt wird. Wie beim Qliner wird das Geschwindigkeitsprofil des Gewässers in Messzellen erfasst. Die Anzahl der Geschwindigkeitsmesszellen ist abhängig von Wasserstand und konfigurierter Messzellenlänge und wird vor Messbeginn automatisch berechnet. Grundlage für die Ermittlung der Geschwindigkeit ist die Auswertung von Echos der von den Ultraschallwandlern ausgesendeten Pulse. Zur Geschwindigkeitsberechnung wird die Frequenzverschiebung betrachtet, die bei der Reflexion der Ultraschallwellen an Partikeln im fließenden Wasser auftritt, der sogenannte Doppler-Effekt. Zur Positionsbestimmung der Messzellen wird hingegen die Laufzeit des Pulses untersucht. Da sich die Binnenfahrwassertonne in ständiger Bewegung befindet, muss sowohl die ermittelte

Fließgeschwindigkeit korrigiert werden als auch der ebenfalls gemessene Wasserstand. Um die ständigen Stampf-, Roll- und Gierbewegungen der Tonne kompensieren zu können, ist daher ein Kompass und ein Neigungssensor im Sensor eingebaut.

Die gesammelten Messdaten werden im internen Speicher des Ultraschallsensors abgelegt. Einmal täglich erfolgt der Datenabruf über das GSM-Modem und die Weiterverarbeitung in einer speziellen Software. Diese Software korrigiert mittels der Tonnenladendaten die Einzelgeschwindigkeitswerte und berechnet über eine Ausgleichskurve, dem „Power Law“, die tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit. Anschließend werden die Messreihen in eine Datenbank exportiert. Hier werden alle gesammelten Daten verwaltet und stehen zur weiteren Auswertung bereit.

Der Stromverbrauch des Messsystems ist abhängig von der Konfiguration des Geschwindigkeitssensors und kann zwischen 50 und 500 mW liegen.

In Abbildung 7 sind die Ganglinien der Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe im Januar und Februar 2011 dargestellt. Die blauen Punkte sind Einzelmessungen im fünf Minuten Takt. Da die Messwerte im Bereich kleiner Geschwindigkeiten von 0 bis 0,3 m/s sehr stark streuen, wurde der Verlauf durch ein gleitendes vier Stunden Mittel geglättet. Die starke Streuung der Messwerte resultiert aus einer Kombination von zwei Effekten: der verfahrensbedingten Standardabweichung der Messwerte und instationären Effekten infolge von Schiffsverkehr, Schleusungen und daraus erzeugten Flachwasserwellen.



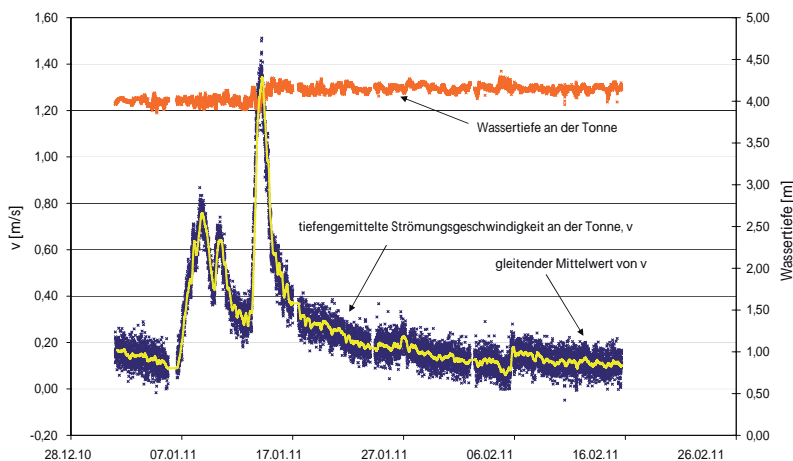
**Abbildung 4**  
Ganglinien der Trübung gemessen an Messtonnen in Rhein, Mosel und Ems im Juni 2011

**4.3 Energiebilanzen**

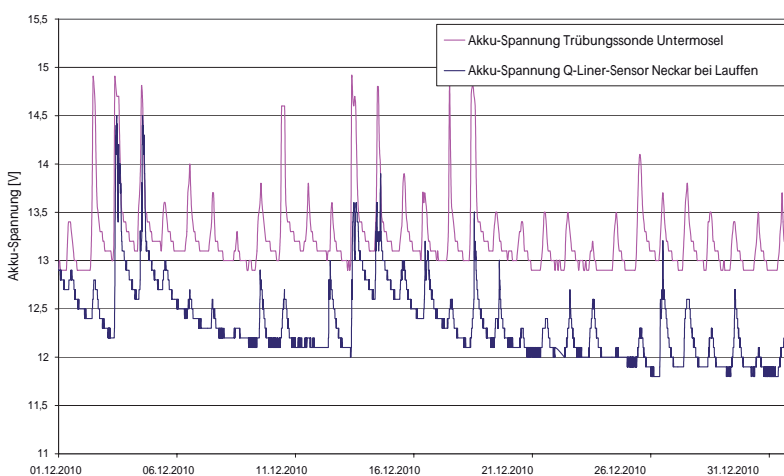
Der kritischste Monat für die solare Energieversorgung ist der Dezember. Die theoretische, aus klimatischen Mittelwerten errechnete Energiebilanz, nach der die Messtationen ausgelegt wurden, ergibt für diesen Monat das größte Defizit (Abb. 2). Im Vergleich dazu stellt Abbildung 8 die tatsächlichen Energiebilanzen im Dezember 2010 dar. Die rote Ganglinie zeigt, dass der Trübungssensor so wenig Energie verbraucht, dass sich der Akku selbst an trüben Dezem-



**Abbildung 6**  
Tonne mit Strömungsmesssensor vor dem Einsetzen im Neckar bei Lauffen und nach acht Monaten Betrieb



**Abbildung 7**  
Ganglinien der Strömungsgeschwindigkeit und der Wassertiefe, gemessen an einer Tonne mit Qliner Sensor im Neckar bei Lauffen



**Abbildung 8**  
Ganglinien der Akku-Spannung für eine Messtonne mit Trübungssensor und mit Strömungsgeschwindigkeitssensor, Qliner

bertagen regeneriert und die Spannung nie unter 12,8 V sinkt. Schlechter sieht es beim Strömungsgeschwindigkeitssensor, Qliner, aus. Gegen Ende Dezember sinkt die Akku-Spannung geringfügig unter die Nennspannung des Sensors, was jedoch nicht zu Ausfällen führte. Trotzdem sollte der Messtakt von jetzt fünf Minuten auf sieben Minuten heraufgesetzt werden, um bei noch ungünstigeren Verhältnissen keine Ausfälle zu riskieren.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Neue Fahrwassertonnen für Binnenwasserstraßen aus Kunststoff können als Träger für Umweltsensoren mit Datenfernübertragung genutzt werden. Dabei wird ihre Funktion als vollwertiges Schifffahrtszeichen zur Markierung des Fahrwassers nicht beeinträchtigt. Die Kosten sind im Vergleich zu einer Landstation gering und die Datenqualität wird verbessert, weil in der fließenden Welle fern vom Ufer an einer für den Flussquerschnitt repräsentativen Stelle gemessen wird. Außerdem kann die Tonne einfach und flexibel nach dem Abschluss einer Untersuchung an anderer Stelle eingesetzt werden. Die solare Energieversorgung erlaubt einen autarken Betrieb mit Messintervallen, die auf den Energiebedarf der Sensoren abgestimmt werden müssen. Der einjährige Probetrieb mit vier Trübungssonden und einem Strömungssensor war erfolgreich. Der Einsatz anderer Sonden, z.B. für Temperatur und Leitfähigkeit, ist möglich, sofern die Sensoren für in situ Messungen geeignet sind. Einflüsse wie Algenwachstum, Eisbildung, Wartungsintervalle und Kalibrierung sollten bei der Einsatzplanung von Messtonnen berücksichtigt werden.

### Anschriften der Verfasser:

Matthias Adler  
Bundesanstalt für Gewässerkunde  
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz  
adler@bafg.de

Marco Krings und Torsten Reddmann  
Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken  
Postfach 100420, 56034 Koblenz  
fvt@wsv.bund.de

### Beteiligte Institutionen und Firmen:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG),  
Koblenz  
Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken (FVT),  
Koblenz  
Firma Ott Hydromet, Kempten  
Firma SABIK Informationssysteme GmbH, Schwerin  
Firma Weiseler Bojen- und Maschinenbau Ernst  
Knecht, Weisel

Umbauarbeiten an den Fahrwassertonnen:  
Rolf Bertgen, Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken

## Aktuelles

### Nachwuchspreis der Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften (FgHW) in der DWA

Während der Konferenz „Tag der Hydrologie 2012“ am 22. und 23. März 2012 in Freiburg wird die FgHW erneut ihren Nachwuchspreis vergeben.

Ausgezeichnet werden je eine Diplom- oder Masterarbeit und eine Dissertation. Die Beurteilung dieser Arbeiten erfolgt durch ein unabhängiges, dreiköpfiges Gutachtergremium. Kriterien der Begutachtung werden sein: Passgenauigkeit zur Thematik Hydrologie und Wasserwirtschaft, Innovation, Bedeutung für die Praxis und/oder Wissenschaft, Berücksichtigung von wissenschaftlicher Literatur und methodische Exzellenz. Die Arbeiten müssen im Jahr 2011 abgeschlossen bzw. begutachtet worden sein.

Prämiert werden die beste Diplom- oder Masterarbeit mit 500 € und die beste Dissertation mit 750 €.

Die Meldung für den Nachwuchspreis kann vom jeweiligen Hauptgutachter der Arbeit bis zum 27. Januar 2012 vorgenommen werden. Benötigte Unterlagen in digitaler Form sind: PDF-Datei der Arbeit, Zeugnis oder gleichwertige Bestätigung der Note, kurzer wissenschaftlicher Lebenslauf der Verfasserin resp. des Verfassers. Kontakt: Prof. Dr. Bernd Cyffka, Stellvertretender Vorsitzender der FgHW, e-mail: bernd.cyffka@ku-eichstaett.de.

*B. Cyffka, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt*

### Gründungs- und 1. Mitgliederversammlung der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft

Am 23. September 2011 fand in Koblenz die Gründungs- und 1. Mitgliederversammlung der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft (DhydroG) statt. Eingeladen hierzu hatte das vorläufige Präsidium der Gesellschaft, das während einer Initialsitzung im Juni etabliert worden war und dessen Mitglieder u.a. Lehrstuhlinhaber verschiedener Universitäten sind. Etwa 80 Personen aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Behörden und Firmen folgten der Einladung.

In den Begrüßungsreden des Leiters der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Herrn Dir. und Prof. Michael Behrendt, sowie von Herrn Prof. Dr. Axel Bronstert (Univ. Potsdam) wurde auf die weltweit herausragende Bedeutung der Fragen des Wasserkreislaufs als auch der Wassernutzung und die über 200-jährige Tradition der Hydrologie in Deutschland verwiesen. Entsprechend hohe Verantwortung liege bei den Wissenschaftlern, sich innerhalb entsprechender Netzwerke für Erkenntnisgewinn und Erkenntnisaustausch einzusetzen. Hauptziele der nun gegründeten Deutschen Hydrologischen Gesellschaft sind vornehmlich die verbesserte Vermittlung von hydrologischem Fachwissen und Erfahrungen in die Öffentlichkeit, die Stärkung der Zusammenarbeit zwischen Forschungsinstitutionen und Anwendern in der Praxis, eine Mitgestaltung internationaler Themenfelder der Hydrologie, die Förderung der Aus- und Fortbildung sowie die Nachwuchsförderung auf dem Gebiet der Hydrologie.

Im Verlauf der Veranstaltung wurden die Formalia zur Register- eintragung der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft – die Satzung, die Wahlordnung sowie die Modalitäten einer Mitgliedschaft – besprochen und verabschiedet und die Wahl für das Geschäftsführende als auch für das Erweiterte Präsidium durchgeführt. Bei den Wahlen zum Geschäftsführenden Präsidium wurde Herr Prof. Dr. Axel Bronstert (Univ. Potsdam) zum Präsidenten, Herr Prof. Dr. Markus Weiler (Univ. Freiburg) zum Vizepräsidenten, Herr Prof. Dr. Markus Casper (Univ. Trier) zum Schatzmeister und Frau Prof. Dr. Nicola Fohrer (Univ. Kiel) zur Schriftführerin der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft gewählt. Für die Wahl des Erweiterten Präsidiums lagen 12 Wahlvorschläge für die Besetzung der 6 Positionen vor. Die folgenden Mitglieder wurden in das Erweiterte Präsidium gewählt: Frau Dr. Theresa Blume (GFZ-Potsdam), Herr Prof. Dr. Markus Disse (Univ. BW München), Herr Prof. Dr. Uwe Haberlandt (Univ. Hannover), Herr Dr. Henning Meesenburg (Nordwestdeutsche Forstl. Versuchsanstalt), Herr Prof. Dr. Konrad Miegel (Univ. Rostock) sowie Herr Prof. Dr. Andreas Schumann (Univ. Bochum). Als Geschäftsführer fungiert Herr Dr. Thomas Lüllwitz (BfG, Koblenz).

Im Anschluss daran erläuterten die neu gewählten Mitglieder des Geschäftsführenden Präsidiums der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft ihre jeweiligen Standpunkte und Visionen zu den zukünftigen Arbeiten und Aufgaben der Gesellschaft.

Herr Prof. Weiler informierte zum Schluss der Veranstaltung über den Termin des „Tag der Hydrologie“ am 22./23. März 2012, der unter dem Motto „Wasser ohne Grenzen“ seitens des Hydrologischen Instituts der Albert-Ludwigs Universität Freiburg und der FgHW ausgetragen und bei dem die Deutsche Hydrologische Gesellschaft Mitveranstalter sein wird. Im Anschluss daran ist eine Mitgliederversammlung vorgesehen.

Weitere Informationen zur Deutschen Hydrologischen Gesellschaft sowie Vordrucke der Beitrittserklärung können über die Geschäftsstelle bezogen werden: Geschäftsstelle Deutsche Hydrologische Gesellschaft, Dr. Thomas Lüllwitz, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz, Tel. 0261/1306-5879, Luellwitz@bafg.de.

### Wolfram Mauser in UNESCO-Gremium berufen

Die UNESCO-Generaldirektorin hat Professor Dr. Wolfram Mauser, Universität München, in das „High Panel on Science for Development“ berufen. Das Gremium wurde neu eingerichtet, um die UNESCO bei fachübergreifenden Fragen ihres Wissenschaftsprogramms zu beraten. Mitglieder im „UNESCO High Panel on Science, Technology and Innovation for Development“ sind 23 hochrangige Wissenschaftler und Experten aus den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften. Die erste Sitzung des Gremiums fand im September 2011 statt. Ziel des Gremiums mit Wissenschaftlern aus allen Regionen der Erde ist es, Lösungsansätze für globale Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu erarbeiten.

Weitere Mitglieder des Gremiums sind beispielsweise der kanadische Geograf Gordon McBean, die israelische Chemikerin und Nobelpreisträgerin Ada Yonath, der Präsident der russischen Akademie der Wissenschaften Sergej Kapitza, der Generaldirektor des CERN in Genf Rolf Heuer, der Ökonom Partha Dasgupta aus Cambridge, der Generalsekretär der „World Technopolis Association“ Oh Deog-Seong, der Präsident des „Network of Academies of Science of Islamic Countries“ Atta-ur-Rahman, die jordanische Prinzessin Sumaya Bint El Hassan, der Präsident der „African Academy of Sciences“ Ahmadou Lamine Ndiaye oder Bernardo Sepúlveda Amor, Richter am Internationalen Gerichtshof in Den Haag.

(aus: Mitteilung Deutsche UNESCO Kommission (DUK), September 2011 ([www.unesco.de/5998.html](http://www.unesco.de/5998.html)))

### Künstliche Feuchtgebiete können Pestizideinträge in Oberflächengewässern reduzieren

Künstliche Feuchtgebiete werden bereits als „Best Management Practice“ weltweit eingesetzt, um Pestizide der Umwelt zu entziehen. Bislang wusste man nur wenig darüber, welche Mengen an Pestizideinträgen damit tatsächlich abgebaut werden können und welche die wirkungsvollsten Systeme sind.

Diesen offenen Fragen gingen die Wissenschaftler der Universität Koblenz-Landau mit Kooperationspartnern aus Frankreich nach, indem sie zunächst alle wissenschaftlichen Veröffentlichungen über künstliche Feuchtgebiete analysierten. Daneben sammelten sie Daten über die physikalisch-chemischen Eigenschaften bestimmter Pestizide und die Beschaffenheit der jeweiligen Feuchtgebiete wie Ausmaß, Tiefe, Pflanzendichte und Fließgeschwindigkeit.

Diese Daten kombinierten die Wissenschaftler mit Ergebnissen aus dem von der EU geförderten vierjährigen Projekt „ArtWET“, in dem sie die Schadstoffreduzierung in fünf Prototypen künstlicher Feuchtgebiete in Frankreich und Deutschland untersuchten. Ziel von ArtWET: Herauszufinden, wie die Hauptmechanismen solcher Becken, also Sorption der Pestizide an der Pflanzenoberfläche, der Abbau und die Verringerung der Fließgeschwindigkeit durch die Vegetation, optimiert werden können.

Das Ergebnis dieser Meta-Analyse: Je nach Pflanzendichte, Löslichkeit der Pflanzenschutzmittel und Durchflussgeschwindigkeit können künstliche Feuchtgebiete eine Reinigungsleistung von bis zu 100 Prozent erzielen. Voraussetzung für eine Verringerung der Pestizidbelastung von Oberflächengewässern ist allerdings, dass die künstlichen Feuchtgebiete so nah wie möglich an den Flächen eingerichtet werden, auf denen Pestizide ausgebracht werden.

Originaltitel:

Sebastian Stehle, David Elsaesser, Caroline Gregoire, Gwenaél Imfeld, Engelbert Niehaus, Elodie Passeport, Sylvain Payraudeau, Ralf B. Schäfer, Julien Tournebize, Ralf Schulz: Pesticide Risk Mitigation by Vegetated Treatment Systems: A Meta-Analysis. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 40 No. 4, p. 1068–1080, DOI 10.2134/jeq2010.0510

(aus: Pressemitteilung Universität Koblenz-Landau vom 14. September 2011)

### Neues Projekt zur Untersuchung der biologischen Abbauege von Spurenschadstoffen

Neben den prioritären Schadstoffen, zu denen Verbindungen wie Polychlorierte Biphenyle (PCBs) oder Dioxine gehören, werden auch viele polare organische Schadstoffe in Kläranlagenabläufen und den Fließgewässern nachgewiesen. Hierzu zählen beispielsweise perfluorierte Substanzen (PFC's), Flammschutzmittel aus elektronischen Geräten, Biozide und Arzneistoffe wie Betablocker, Antibiotika, Inhaltsstoffe von Antibabypillen und viele mehr. Diese polaren organischen Verbindungen werden nicht oder nur unvollständig in den Kläranlagen entfernt, was zur Folge hat, dass einige dieser Substanzen, wie z.B. das Schmerzmittel Diclofenac oder das Biozid Irgarol, in Konzentrationen in unsere Oberflächengewässer gelangen, die negative Wirkungen auf aquatische Organismen erwarten lassen. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass der mikrobielle Abbau von organischen Schadstoffen nicht zu einem vollständigen Abbau, sondern lediglich zu geringfügig veränderten Substanzen, sog. Transformationsprodukten (TPs), führt. Die Toxizität dieser meist unbekanntenen TPs ist häufig nicht bekannt, sie sind jedoch oftmals wasserlöslicher als die Ausgangsstoffe.

In dem neuen Projekt mit dem Namen ATHENE werden die Auswirkungen von verschiedenen neuen technologischen Ansätzen, wie z.B. die Kopplung von streng anaeroben und aeroben Verhältnissen, auf den Abbau der organischen Schadstoffe im Labor und in Pilotanlagen systematisch untersucht. Moderne analytische Verfahren (u.a. hochauflösende Massenspektrometrie und Kernresonanzspektroskopie) werden angewendet, um die Transformationsprodukte und die Transformations- bzw. Abbauege zu identifizieren. Darüber hinaus werden die TPs u.a. durch neu zu entwickelnde Kopplungen von Chromatographie und in-vitro Toxizitätstests hinsichtlich ihrer Umwelttoxizität untersucht und bewertet. Die am Abbau beteiligten enzymatischen Prozesse werden sowohl durch klassische enzymologische als auch durch moderne molekularbiologische und massenspektrometrische Verfahren charakterisiert. Die Erkenntnisse über die Abbauege und die am Abbau beteiligten Enzyme sollen für die Verbesserung von Modellen zur Vorhersage von Abbauegen genutzt werden und schließlich zu einer Optimierung des Schadstoffabbaus in der kommunalen Kläranlage führen.

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt wird von drei Partnern durchgeführt: Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag), Schweiz, und Institut für Ökologie, Evolution und Diversität, Abteilung Aquatische Ökotoxikologie, Universität Frankfurt. ATHENE hat eine Laufzeit von 5 Jahren und wird vom European Research Council (ERC) mit einem Advanced Grant in Höhe von 3,5 Millionen Euro gefördert.

(aus: Pressemitteilung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) vom 12. Oktober 2011 und Webseite <http://cordis.europa.eu> (13.10.2011))

### Pestizidbelastung der Gewässer

Ziel der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist es, dass Oberflächengewässer und Grundwasserkörper bis 2015 einen guten ökologischen und chemischen Zustand erreichen sollen. Der chemische Zustand wird anhand einer Liste bewertet, auf der 33 so-



genannte prioritäre Schadstoffe aufgeführt sind. Da insgesamt über 14 Millionen Chemikalien auf dem Markt sind und davon über 100.000 im industriellen Maßstab produziert werden, müssen sich die Behörden bei ihren Kontrollen auf eine überschaubare Anzahl an Schadstoffen beschränken. Europaweit wird an Methoden gearbeitet, um herauszufinden, welche Stoffe das sein sollten.

Einen Beitrag dazu leistet jetzt eine Studie, die Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) zusammen mit Kollegen in Frankreich, der Slowakei, Belgien und Spanien erstellt haben. Dazu werteten sie eine Datenbank aus, die im Rahmen des EU-Forschungsprojektes MODELKEY entstanden ist und die fünf Millionen Einträge zu physiko-chemischen Daten enthält. Der Schwerpunkt der Arbeit lag dabei auf den organischen Schadstoffen, die bei über 750.000 Wasseranalysen in den Einzugsgebieten der Flüsse Elbe (Tschechien/Deutschland), Donau (10 Europäische Anrainerstaaten), Schelde (Belgien) und des Llobregat (Spanien) registriert wurden. Der Europäischen Kommission zufolge handelt es sich dabei um die erste Studie, die ein System entwickelt hat, das organische Schadstoffe nach Bewertungskriterien und Handlungsbedarf klassifiziert.

Eine der am häufigsten registrierten Verbindungen war Diethylhexylphthalat (DEHP), ein Weichmacher aus der Chemieproduktion, der die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen kann und daher ab 2015 in der EU verboten ist. Daneben folgen mit Bisphenol A (BPA) ein weiterer Weichmacher, der ebenfalls als fortpflanzungsschädigend gilt, sowie mit Diclofenac und Ibuprofen zwei Arzneistoffe, die häufig in Schmerzmitteln eingesetzt werden.

Insgesamt wurden 73 Verbindungen als potenzielle prioritäre Schadstoffe eingestuft. Rund zwei Drittel davon sind Pestizide, die in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Die problematischsten Pestizide waren dabei Diazinon, das in Deutschland und Österreich bereits nicht mehr zugelassen ist, und die in Mitteleuropa erlaubten Stoffe Azoxystrobin und Terbutylazin. Beide Pestizide stehen nicht auf der Liste der 33 prioritären Schadstoffe. Auch Substanzen, die bisher als harmlos eingestuft wurden wie HHCB, das als synthetischer Moschus-Duftstoff in Körperpflegemitteln eingesetzt wird, kommen in der Umwelt in bedenklichen Konzentrationen vor. Eine Überarbeitung der Chemikalienliste, die die EU-Wasserrahmenrichtlinie den nationalen Behörden zur Beobachtung vorschreibt, sei dringend notwendig. Positiv wird vermerkt, dass ein Drittel der von der EU vor einigen Jahren als prioritär eingestuften Schadstoffe inzwischen keine Gefahr mehr für die untersuchten Flüsse darstellen.

Originaltitel:

Von der Ohe PC, Dulio V, De Deckere E, Slobodnik J, Kühne R, Ebert R-U, Schüürmann G, Brack W (2011): A new risk assessment approach for the prioritization of 500 classical and emerging organic microcontaminants as potential river basin specific pollutants under the European Water Framework Directive. *Sci. Total Environ.* 409: 2064-2077. DOI 10.1016/j.scitotenv.2011.01.054

(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) vom 13. Oktober 2011)

### Literaturstudie „Fließgewässerbiologie und Klimawandel“ auf [www.KLIWA.de](http://www.KLIWA.de) verfügbar

Der Klimawandel verändert Wasserführung und Temperatur von Bächen und Flüssen. Dies hat eine ganze Kette von Prozessen zur Folge, die sich letztlich auf Pflanzen und Tiere in Fließgewässern auswirken: Manche Arten werden seltener oder sterben aus, andere Arten wandern ein. Lebensgemeinschaften von Gewässern und ihre Funktionen im Naturhaushalt ändern sich.

Im Rahmen des Kooperationsvorhabens Klimaveränderungen und Wasserwirtschaft (KLIWA) wurde das bislang veröffentlichte Fachwissen zu Klimawandel und Fließgewässerökologie in einer Studie der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung, mit Fokus auf den süddeutschen Raum, zusammengefasst.

Die auf der KLIWA-Website präsentierten Daten basieren auf der Auswertung von Veröffentlichungen und „grauer Literatur“ (z.B. Gutachten und Diplomarbeiten), die bis zum Jahr 2009 veröffentlicht wurden. Aus fast 1.000 Literaturstellen wurden 228 ausgewählt, die zumindest einzelne Beziehungen zwischen Klima und Prozessen in Gewässern und ihren Lebensgemeinschaften beschreiben. Beispiele für die möglichen Reaktionen der verschiedenen Organismengruppen und die Wirkungsbeziehungen in drei verschiedenen Gewässertypen, von kleinen Bergbächen bis hin zu großen Strömen wie Rhein und Donau sind unter <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de> differenziert nach folgenden Indikatoren abrufbar:

*Organismengruppen:* Auswirkungen des Klimawandels auf Fische, Makrophyten/Phytobenthos, Makrozoobenthos und Phytoplankton.

*Wirkungsbeziehungen:* Direkt und indirekt verändert der Klimawandel abiotische Faktoren in Gewässern. Dies hat vielfältige Rückwirkungen auf verschiedene Organismengruppen.

*Literatursuche:* Angaben zu 228 Studien, die sich mit Klimawandel und Gewässerökosystemen beschäftigen und die Relevanz für Süddeutschland haben.

*Neobiota:* Viele Neobiota sind tolerant gegenüber Temperatur, Eutrophierung und Versalzung und profitieren damit indirekt vom Klimawandel.

Die Studie „Einfluss des Klimawandels auf die Fließgewässerqualität – Literatúrauswertung und erste Vulnerabilitätseinschätzung“ kann als pdf-Datei unter <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de> heruntergeladen werden.

(aus: KLIWA-Webseite [www.kliwa.de](http://www.kliwa.de), 25. Oktober 2011)

### Water Prize 2011

Prof. András Szöllösi-Nagy, Rektor des UNESCO-IHE Institute for Water Education und ehemaliger Leiter des IHP-Sekretariats der UNESCO, Paris, erhielt den „Water Prize“ der Fürst Albert II. von Monaco-Stiftung für seine Verdienste für die Wissenschaft sowie seine Leistungen zur Verbesserung des Umweltverständnisses. Professor Szöllösi-Nagy war maßgeblich an der Reform der multidisziplinären Lehre im Bereich Wasserressourcen zur Unterstützung der Entwicklungsländer beteiligt. Während der vergangenen 17 Jahre als Präsident des World Water Council lenkte er die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf das Thema Wasser und erarbeitete Informations- und Bildungsangebote für die interes-

sierte Öffentlichkeit sowie die politischen Entscheidungsträger zu dieser Thematik. Weitere Preisträger waren Dr. David Suzuki, Kanada, in der Kategorie Climate Change und Dr. Gretchen Daily, USA, in der Kategorie Biodiversity. Die Preisverleihung fand am 7. Oktober in Monte Carlo in Anwesenheit von 1.500 Gästen aus aller Welt statt.

(aus: News UNESCO-IHE vom 24. Oktober 2011)

### Extreme als Folge des Klimawandels

Die Moskauer Hitzewelle im Jahr 2010 war mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Folge des Klimawandels – anders als bislang teils angenommen. Statt auf natürliche kurzfristige Klimaschwankungen ist der Temperaturrekord in der Region um die russische Hauptstadt auf den langfristigen Trend der Klimaerwärmung zurückzuführen und zwar mit einer Wahrscheinlichkeit von 80 Prozent, wie Analysen von Wissenschaftlern des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) ergaben.

Die Anzahl der Hitzerekorde wird um so größer, je steiler der klimatische Erwärmungstrend ist – starke Temperaturschwankungen von Jahr zu Jahr verringern dagegen die Zahl der Rekorde. Auf den ersten Blick wirkt dies widersprüchlich, denn für das Einzelereignis ist es natürlich die starke Schwankung, die den Rekord ausmacht. In der Summe aber führen heftige Schwankungen dazu, dass die einmal erreichten Spitzenwerte nicht so rasch wieder übertroffen werden. Aus dem Verhältnis von Erwärmungstrend zu Schwankungen lässt sich die erwartete Häufigkeit neuer Rekorde berechnen. Beobachtungsdaten stützen diese Berechnungen und werden durch die theoretische Erkenntnis erklärbar.

Originaltitel:

Rahmstorf, S., Coumou, D. (2011): Increase of extreme events in a warming world. Proceedings of the National Academy of Sciences (early edition), doi:10.1073/pnas.1101766108

(aus: Pressemitteilung Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) vom 24. Oktober 2011)

### Groundwater Resources Assessment Centre jetzt beim UNESCO-IHE in Delft

Das International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC), bisher angesiedelt bei Deltares in Utrecht, Niederlande, ist umgezogen zum UNESCO-IHE in Delft. Das Center arbeitet unter der Schirmherrschaft der UNESCO und kooperiert eng mit dem Hydrology and Water Resources Programme (HWRP) der WMO. IGRAC war 1999 gegründet worden mit der Zielsetzung, den Kenntnisaustausch auf dem Fachgebiet Grundwasser zu unterstützen und die Erfassung, Entwicklung sowie Bewirtschaftung der Grundwasserressourcen auf wissenschaftlicher Basis zu fördern. Weitere Information zu IGRAC unter: [www.un-igrac.org](http://www.un-igrac.org).

(aus: UNESCO Water e-Newsletter No. 258 vom 8. November 2011)

### Naturpark Flusslandschaft Peenetal mit eigener Website

Die Peene gehört zu den letzten weitgehend unverbauten und fischartenreichsten Flüssen Deutschlands. Sie stellt zudem eines der größten zusammenhängenden Niedermoorgebiete Mittel- und Westeuropas mit seltenen Arten dar. Diese einzigartige Landschaft wurde im Spätsommer dieses Jahres vom Land Mecklenburg-Vorpommern als Naturpark ausgewiesen.

Information unter: [www.naturpark-flusslandschaft-peenetal.de](http://www.naturpark-flusslandschaft-peenetal.de)

(aus: Pressemitteilung Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern Nr. 22/11 vom 10. November 2011)

### Bewertung der Versorgungssicherheit der öffentlichen Wasserversorgung in Bayern

Die Bewertung der Versorgungssicherheit für jedes der mehr als 2.300 öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen im Freistaat Bayern ist Ziel eines umfangreichen Projektes. Die Wasserwirtschaftsbehörden und die für die Trinkwasserversorgung zuständigen Kommunen sind Partner im Projekt und arbeiten Hand in Hand, das Landesamt für Umwelt koordiniert die Arbeiten. Aktuell startet das Projekt bei den oberbayerischen Wasserwirtschaftsämtern Weilheim und Rosenheim, in Niederbayern am Wasserwirtschaftsamt Landshut, in der Oberpfalz in Regensburg und Weiden und in Oberfranken in Hof und Kronach. Bis Ende 2014 werden alle Bestandsaufnahmen im Freistaat abgeschlossen und ausgewertet.

Bayerns Wasserversorgung ist besonders kleinteilig organisiert: rund drei Viertel aller Versorgungsunternehmen versorgen weniger als 4.500 Einwohner. Das große Plus: Bürger identifizieren sich stärker mit „ihrem“ Wasser, wenn es direkt vor Ort geschützt und gewonnen wird. Beim Grundwasser ist die Situation in Bayern besser als in vielen anderen Ländern. Mehr als 92 Prozent des bayerischen Trinkwassers kommt quellfrisch direkt aus dem Grundwasser zum Verbraucher, der Großteil davon ohne jede Aufbereitung.

(aus: Pressemitteilung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) Nr. 43 vom 11. November 2011)

### INTERREG Projekt Klimawandel am Bodensee (KLIMBO)

Der Bodensee ist Teil eines intensiv genutzten Lebens- und Naturraums von internationaler Bedeutung. Er befindet sich heute dank langjähriger erfolgreicher Gewässerschutzmaßnahmen in einem guten Zustand, der durch geringe Nährstoff- und Schadstoffkonzentrationen gekennzeichnet ist. Sein Wasser erfüllt aus physikalisch-chemischer Hinsicht den Standard der Trinkwasserqualität. Der globale Klimawandel wirkt sich auch auf die Bodenseeregion aus und ist heute bereits im See nachweisbar. Milde Winter, Extremereignisse und stabile Wetterlagen beeinflussen die hydrodynamischen Verhältnisse am Bodensee und können sich damit auch auf die Wasserqualität und die vielfältigen Nutzungen des Sees auswirken.

*Ziele von KLIMBO*

Unter Berücksichtigung der zu erwartenden klimatischen Änderungen für den Bodenseeraum ergeben sich für den vorsorgenden Gewässerschutz am Bodensee folgende Projektziele:

- Identifizierung von zu erwartenden Prozessänderungen durch Vergleich mit anderen Seen und mit Hilfe modellunterstützter Untersuchungen
- Abschätzung von Auswirkungen durch Klimaänderung auf:
  - saisonale Schichtungsentwicklung im Bodensee
  - Tiefenwassererneuerung und Entwicklung der Sauerstoffverhältnisse am Seegrund
  - Verteilung von Wasserkörpern
  - Lateraler und vertikaler Wasseraustausch
  - Remobilisierung von Stoffen aus dem Sediment
  - Entwicklung und Auswirkungen von Trübeströmen
  - Prozesse und Stressoren in der Flachwasserzone des Bodensees und ihre Wechselwirkung mit dem Gesamtsee (thermische Verhältnisse, Zuflusswasser)
  - Wärmehaushalt des Bodensees unter Berücksichtigung potenzieller Nutzungen

*Inhalte*

Das Projekt umfasst die Schwerpunkte Seenvergleich, Literaturstudie, Messkampagnen und Simulationsrechnungen.

Beim Vergleich mit anderen voralpinen Seen wird unter anderen der Genfersee herangezogen, der bereits heute eine verminderte Tiefenwassererneuerung durch mehrjähriges Ausbleiben der Vollzirkulation aufweist, sowie der gut untersuchte Brienersee. Vorliegende Erkenntnisse werden auf den Bodensee übertragen und als Grundlage für eine Langzeitprognose mit Hilfe von Seemodellen verwendet.

Der Seenvergleich wird durch eine Literaturstudie mit Risikoabschätzung für den Bodensee ergänzt. Hierbei sollen u.a. hydrologische Veränderungen und ihr Einfluss auf Wasserqualität und Trinkwassergewinnung, die Veränderung von Stoffeinträgen durch Extremereignisse, die Remobilisierung von Sedimentinhaltsstoffen, Abbauprozesse von Nähr- und Spurenstoffen sowie die Verbreitung von Neozoen und Neophyten diskutiert und die Sensitivität dieser Prozesse evaluiert werden.

Durch gezielte Messkampagnen soll beispielhaft die Verteilung von Wasserkörpern anhand von konservativen anthropogenen

Tracern untersucht werden. Eine daran anschließende Bilanzierung dient als Grundlage für Langzeitsimulationen zum Wasseraustausch aus dem Bodensee. Für das verbesserte Verständnis der Prozesse in der Flachwasserzone sollen Messungen zu den thermischen Verhältnissen im Flachwasserbereich, zur Ausbreitung von Flusswasser und zum Verhalten von Dichteströmen durchgeführt werden.

Ein wesentlicher Bestandteil des Projektes ist die Anwendung und Weiterentwicklung bestehender Seemodelle für die Langzeitprognose. Folgende Schlüsselprozesse sollen für den Bodensee modelliert werden: Tiefenwassererneuerung, Flusswasserverteilung in der Flachwasserzone, Wechselwirkung Flachwasserzone mit dem Gesamtsee, Sauerstoffentwicklung am Seeboden, Nährstoffentwicklung und Primärproduktion, Sedimenteintrag und Sedimentumlagerung, Langzeitverhalten von Wasserkörpern und Auswirkungen von Nutzungen auf den Wärmehaushalt.

Mit dem Projekt werden hydrodynamische Modelle als Instrumente des internationalen Gewässerschutzes am Bodensee eingeführt. Diese Methoden sind bislang noch nicht etabliert. Durch die verbesserten technischen Möglichkeiten ist eine dynamische Weiterentwicklung in den nächsten Jahren zu erwarten. KLIMBO verfolgt damit eine Pilotstrategie, welche Impulse für zukünftige Entwicklungen im Gewässerschutz geben wird. Das Projekt fördert die Vernetzung der fachlich betroffenen Institutionen der Bodenseeanrainerstaaten.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Durchführung des Projekts ist die grenzüberschreitende Kooperation der Projektpartner auf Grundlage einer gemeinsamen Daten- und Wissensbasis. Neben dem Daten- und Modell-Verbundsystem BodenseeOnline spielt hier das aus einem früheren INTERREG Projekt hervorgegangene Bodensee-Wasser-Informationssystem (BOWIS) der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) eine wichtige Rolle.

Beteiligt an KLIMBO sind Institutionen aus Baden-Württemberg und der Schweiz. Die Projektkoordination liegt beim Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

*(aus: Projektskizze KLIMBO und Pressemitteilung Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg vom 15. November 2011)*

## Neue Publikationen

### Halle und die Saale – Verflechtungen der 1200-jährigen Stadt mit ihrem Umland durch Wasserwirtschaft und Bergbau sowie Folgeindustrien

Hrsg. Christoph Ohlig

Schriften der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft (DWhG) e.V. Band 15. Siegburg 2011. 252 S., zahlr. Karten, Abb., Fotos, 49,90 €

ISBN 978-3-8423-4554-6

Das Werk ist ein Sammelband und enthält, in erweiterter Form, die Vorträge, die auf der 16. Fachtagung der DWhG im Mai 2009 in Halle gehalten wurden.

Die „Salzstadt“ Halle verdankt ihre Entstehung und ihren mittelalterlichen Reichtum der Gewinnung und dem Fernhandel von Salz aus dem Zechsteinsalinar. Geologischer Untergrund und Tektonik hatten großen Einfluss auf die Entwicklung der Stadt und ihres Umlandes. So schuf die Subrosion des unterlagernden Salinars großflächig tiefe Auslaugungssenken, in denen sich im späteren Tertiär mächtige Braunkohlelagerstätten entwickeln konnten. Auf ihnen beruht die kohleveredelnde chemische Industrie, die das mitteldeutsche Industriegebiet prägte und die mit ihrem hohen Brauchwasserbedarf und ihren Abwässern große hydrologische und wasserwirtschaftliche Probleme bis heute bereitet. In solchen Subrosionssenken entstanden die Mansfelder Seen, der Süße See und der Salzige See (1894 wegen Gefährdung des untertägigen Kupferschiefer-Bergbaus trockengelegt). Im Geiseltalrevier, wo Kohlemächtigkeiten bis 120 m auftreten, entstand nachdem 1992 der Bergbau eingestellt wurde der mit 78 m Tiefe und 18,5 km Oberfläche größte Tagebau-Restsee Mitteldeutschlands, der Geiseltalsee. Die hydrologischen, wasserwirtschaftlichen, landeskulturellen und planerischen Probleme und Aufgaben bei der Entwicklung der Bergbaufolgelandschaften sind hochaktuell. Die Saaleaue im Stadtgebiet Halles, von der Mündung der Weißen Elster/Luppe bis unterhalb der Stadt, ist als kilometerbreites und vorflutschwaches Überflutungsgebiet stark hochwassergefährdet und in seinem hydrographischen Netz seit Jahrhunderten intensiv umgestaltet worden. Schließlich diente die Saale lange als Wasserstraße dem Schiffsverkehr.

Alle diese Aspekte werden in dem DWhG-Band in Einzelbeiträgen aussagekräftig dargestellt. Der wichtigste Beitrag, der etwa die Hälfte des Bandes einnimmt, ist der von Rüdiger Spengler: „Die Wasserbewirtschaftung der Saale bis 1989 – Entwicklung eines Flußgebietsmanagements“. Hier wird die historische Entwicklung der vielgestaltigen Wassernutzung im gesamten, 24.979 km<sup>2</sup> großen und landwirtschaftlich reich gegliederten Einzugsgebiet der Saale kompetent, faktenreich und immer mit Blick auf das Gesamtgebiet mit seinen hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Problemen dargestellt. So war z.B. die „Salzlaststeuerung“ der Saale eine gewaltige logistische und planerische Aufgabe für die DDR-Wasserwirtschaft. Denn durch die von Wipper und Unstrut aus dem Südharz-Kalirevier in die Saale transportierte Salzfracht drohte bei einer Härte von > 40 °DH sowie > 560 mg/l Chlorid in der Saale der Produktionsbetrieb der großen chemischen Kombinate Leuna und Buna (zus. > 40.000 Beschäftigte) zusammenzubrechen. Beide Werke entnahmen der fließenden Welle je etwa 10 m<sup>3</sup>/sec. Brauchwasser.

Für das Verständnis der Wasser- und Gewässernutzung im Saalegebiet ist das Werk eine Fundgrube.

Ludwig Bauer

### Manual on Flood Forecasting and Warning

WMO 2011, Genf, 142 S. einschl. CD, 38,- SFR

ISBN 978-92-63-11072-5

Das Handbuch dient als Leitfaden zur Entwicklung eines maßgeschneiderten Systems zur Hochwasservorhersage und -warnung. Ziel ist, eine kompakte, aber dennoch umfassende Übersicht über das erforderliche Grundwissen und die Informationen zu liefern, die von den Anwendern in den nationalen meteorologischen oder hydrometeorologischen Diensten oder anderen Hochwasserdiensten für die operationelle Umsetzung benötigt werden.

(aus: WMO-Webseite (in Englisch, [www.wmo.int](http://www.wmo.int)),

Stand 20. September 2011)

### Wasser: Achtung!

#### Klimawandel – Sekundäreffekte auf das Wasser

Hrsg. Leibnitz-Gemeinschaft e.V., Berlin. Zwischenruf Heft 1, 2011

Download: [www.wgl.de](http://www.wgl.de) – Navigationspunkte Aktuelles und Publikationen

Mit Beiträgen aus Ökologie, Geophysik, Klimatologie, Raum-, Agrar- und Wirtschaftswissenschaften, Medizin und Technologie. Dabei geht es nicht nur um das Trinkwasser und die Biodiversität in den Flüssen und Seen, sondern auch um neuartige Krankheitserreger, Nahrungssicherung und Hochwasserschutz. Die neuen Klimabedingungen erfordern veränderte Rahmenbedingungen für Versicherungen und Industrieproduktion ebenso wie eine Koordination von Raumplanung und Wasserwirtschaft. Zielgruppe des Berichtes sind insbesondere Entscheider in Politik und Verwaltung sowie die interessierte Öffentlichkeit.

(aus: Presseinformation Netzwerk-Forum zur Biodiversitätsforschung Deutschland (NEFO) vom 28. September 2011)

### Ecosystems for Water and Food Security

#### Background Document

United Nations Environment Programme (UNEP), International Water Management Institute (IWMI) 2011

Download: <http://unesdoc.unesco.org>

Der Bericht soll die Bedeutung der Ökosysteme, insbesondere Agrarökosysteme, für die Wasserbewirtschaftung und Nahrungsmittelerzeugung aufzeigen. Die Wechselbeziehung zwischen Ökosystemen, Wasser und Ernährungssicherung wird dargestellt und wie die Bewirtschaftung von Ökosystemen verbessert werden kann, um die Wasserverfügbarkeit zu sichern und künftige Hungerkrisen zu vermeiden. Der Schwerpunkt liegt auf der Frage, wie man eine nachhaltige Nahrungsmittelerzeugung aus biophysikalischer Sicht implementieren kann und thematisiert nicht per se die gesellschaftlichen und institutionellen Kernfragen im Zusammenhang mit Ernährungssicherung. Einige davon werden jedoch im Gesamttext herausgestellt, um den Leser daran zu erinnern, dass diese ein kritisches Element bleiben für die Gewährleistung der Ernährungssicherung der Armen und sozial Schwachen. Hauptkapitel sind Ernährungssicherung, Ökosysteme so-

wie Wasser. Jedes Kapitel vermittelt mehr Einblick in die Gründe, warum ein integrierter Ökosystem-Ansatz erforderlich ist und zu welchen Ergebnissen dieser führen sollte. Das Synthese-Kapitel erläutert, wie Agrarökosysteme Wasser und andere Dienstleistungen für die Ernährungssicherung bereitstellen könnten.

(aus: *Bimonthly Publications Review of UNW-DPAC, Issue No 6, September 2011*)

### Water History for our Times

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO), International Hydrological Programme (IHP), 2011

Download: <http://unesdoc.unesco.org>

Die Abhandlung liefert einen Überblick über die wesentlichen historischen Entwicklungen zum Thema Wasser und Zivilisation. Sie ist ein erster Systematisierungsversuch, wie sich Wissen und Methoden mit der Zeit weltweit ausgebreitet haben und warum sich einzelne Elemente davon über die Zeit und geographische sowie kulturelle Räume hinweg erhalten.

(aus: *Bimonthly Publications Review of UNW-DPAC, Issue No 6, September 2011*)

### Water and Climate Dialogue: Adopting to Climate Change: Why we Need Broader and out-of-the-box Approaches

World Water Assessment Programme (WWAP), UN-Water, 2011

Download: <http://unesdoc.unesco.org>

Der Bericht, ursprünglich für das World Water Assessment Programme während der Dialogs for Water and Climate Change auf dem COP16-Meeting in Mexiko im Dezember 2010 zusammengestellt, liefert eine Reihe von Kernaussagen und -fakten über Folgen des Klimawandels im Zusammenhang mit Wasser sowie relevante Optionen für die Politik und zur Anpassung an den Klimawandel.

(aus: *Bimonthly Publications Review of UNW-DPAC, Issue No 6, September 2011*)

### Water and Global Change

The WATCH Project Outreach Report 2011

Download: [www.eu-watch.tv](http://www.eu-watch.tv)

Die Ergebnisse von WATCH (Water and Global Change Programme) liefern auf Basis von Tageswerten und einer Rasterauflösung von 50 km eine Abschätzung des globalen Wasserkreislaufs für das vergangene (20.) und laufende (21.) Jahrhundert sowie eine neue globale Analyse der Wasserknappheit. Die durch WATCH gewonnenen Erkenntnisse, einschließlich neuer Datensätze, Karten, Verfahren und Modelle, können weltweit zur Analyse, Prognose und Bewirtschaftung von Wasserressourcen, Hochwasser und Dürre eingesetzt werden.

Im Rahmen von WATCH wurde:

- die Bedeutung des Landnutzungswandels herausgearbeitet, der für die Wasserressourcen mindestens genauso wichtig ist wie der Klimawandel
- die potentielle Vulnerabilität der Wasserversorgung in subtropischen Einzugsgebieten ermittelt, wo Veränderungen des Klimas, der Landnutzung und der steigende Verbrauch zu einer Verringerung der verfügbaren Wassermenge um bis zu 30 % führen

- die Bedeutung der Evaporation für den globalen Wasserkreislauf untersucht
- geprüft, ob die globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen zu einer substantiellen Erhöhung des Hochwasserrisikos führen (z.B. in England und Wales im Herbst 2000)

WATCH brachte erstmalig Wissenschaftler der Sektoren Hydrologie, Wasserwirtschaft und Klimaforschung auf internationaler Ebene zusammen. Gemeinsam analysierten, quantifizierten und prognostizierten sie die Komponenten des globalen Wasserkreislaufs und der damit verbundenen Wasservorkommen für Gegenwart und Zukunft. Untersucht wurden auch die Unsicherheiten und die Vulnerabilität der globalen Wasserressourcen für gesellschaftliche und wirtschaftliche Kernbereiche. Von 2007–2011 beteiligten sich insgesamt 25 Institute aus 14 europäischen Ländern an WATCH. Das von der EU finanzierte Programm wurde vom UK Centre for Ecology and Hydrology koordiniert.

(aus: *Pressemitteilung Centre for Ecology & Hydrology (in Englisch) vom 14. Oktober 2011*)

### Beobachteranleitung für nebenamtliche Niederschlagsstationen Nst (A) und Nst (k) (BAN) Arbeitsblatt DWA-A 530

Hrsg. DWA, Henneff 2011, 28 S., 35,- €

(Fördernde DWA-Mitglieder: 28,- €)

ISBN 978-3-941897-97-7

Neben den bestehenden amtlichen Wetter-Beobachtungsstationen des Deutschen Wetterdienstes und privatwirtschaftlicher oder „halbstaatlicher“ Institutionen ist insbesondere das Netz aus ehrenamtlich getragenen Stationen für die kontinuierliche, flächendeckende Wetterbeobachtung als Voraussetzung für umfassende Wetter-Analysen und -Vorhersagen sowie für fachliche Gutachten besonders wertvoll. Dabei sind Beobachtungen und Messungen über einen langen Zeitraum unter möglichst gleichen Bedingungen ein wichtiger Maßstab für die Güte der Datenreihen. Nur dadurch ist es zum Beispiel möglich, aus diesen Daten Erkenntnisse über langzeitige Veränderungen des Klimas zu gewinnen bzw. Rückschlüsse auf die Wirkung von baulichen Veränderungen oder landschaftsgestalterischen Maßnahmen auf die klimatischen Verhältnisse in der Umgebung der Station zu ziehen.

In der vorliegenden technischen Regel werden die Vorgaben spezifiziert, die für die Umsetzung der hohen Anforderungen bei der Beobachtung an nebenamtlichen Stationen zu berücksichtigen sind. Der Fokus des Arbeitsblattes liegt dabei auf der Niederschlagsbeobachtung. Die Vorgaben richten sich an Betreiber von ehrenamtlich betreuten Messnetzen und die Beobachter vor Ort in gleichem Maße. Die Anleitung wurde mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) abgestimmt und mit weiteren Betreibern hauptamtlicher und nebenamtlicher Niederschlagsbeobachtungs-Messnetze in der DWA-Arbeitsgruppe „Niederschlag“ ausgearbeitet.

(aus: *Mitteilung DWA vom 3. November 2011*)

### Hochwasserschutzfibel. Objektschutz und bauliche Vorsorge

Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin 2010, 50 S., kostenlos

Diese Hochwasserschutzfibel gibt Ratschläge und Arbeitsanleitungen, damit bei der Mehrzahl der zukünftigen Hochwasserereignisse

schädigende Auswirkungen vermieden bzw. abgemildert werden. Sie soll Anwendung bei Wohn- und Verwaltungsgebäuden finden. In Teil A gibt die Hochwasserfibel betroffenen Bürgerinnen und Bürgern wertvolle Hinweise für die Bau- und Verhaltensvorsorge.

In Teil B werden gesetzliche Grundlagen dargestellt und die Strategien und Handlungsschwerpunkte der betroffenen Gemeinden beim Hochwasserrisikomanagement aufgezeigt.

Im Anhang finden sich Materialien für die Organisation und die Durchführung von Maßnahmen der privaten Hochwasservorsorge. Die Verknüpfung von Hinweisen an Privatpersonen und an öffentliche Entscheidungsträger in dieser Fibel soll das Verständnis untereinander stärken.

*(aus: Hochwasserschutzfibel, Einführung)*

### Handbuch Rhein

Jochen Rahe, Martin Stieghorst, Urs Weber (Hrsg.)  
Primus Verlag, Darmstadt 2011. 336 S. mit ca. 250 farb. Abb., Reg., 49,90 €

ISBN 978-3-89678-772-9

Der Abschnitt 1 des „Handbuch Rhein“ befasst sich mit geografischen, naturräumlichen, ökologischen und gestalterischen Aspekten des Rheins. Dazu zählen die Entwicklungsstadien des Rheins im Laufe der Erdgeschichte, die Funktionen der Rheinauen als dem Rhein zugeordnetes Biotopsystem und ihre Verknüpfung zur europäischen Biotopachse Rhein, die Situation, die die Fernwanderer unter den Rheinfischen vorfinden. Weiterhin werden der Rhein in seiner Bedeutung für die Gestalt der Städte an seinen Ufern und als Ort von Gartenschauen sowie die landschaftlichen Ausprägungen in seinem niederländischen Teil behandelt.

In Abschnitt 2 wird die Nutzung des Rheins als Energielieferant, als Transportweg, als Trinkwasserressource, als Grundlage für die fischereiliche Nutzung und für die Gewinnung von Kies und Sand dargestellt.

Der Abschnitt 3 widmet sich hydrologischen Themen wie der Wassergüte und den Wechselwirkungen des Rheinwassers mit dem

seitlichen Grundwasser und den Rheinauen. Auch zu spezielleren Themen wie Schöpfwerken, die seitliche Landstriche vor Vernässung und Überflutung schützen, den Veränderungen der Flusssohle und der Abschätzung der Folgen des Klimawandels für das Wasserregime des Rheins werden Informationen gegeben.

Der Abschnitt 4 bietet Angaben zum Hochwasserabfluss, zu den Risiken von Überflutungen, zu der speziellen Gefahrensituation an der niederländischen Nordseeküste und zu den Möglichkeiten des Hochwasserschutzes sowohl für größere Baugebiete als auch für ein einzelnes Gebäude.

Die Kapitel der vier Abschnitte mit ihren ca. 180 Seiten vermitteln zunächst eine Vielzahl von Informationen zur Situation des heutigen Rheins als Resultat lang dauernder, meist natürlicher Entwicklungen oder auch plötzlicher Änderungen, die fast immer durch menschliche Eingriffe verursacht sind. Weiterhin sind Beurteilungen der vorhandenen Tatbestände oder Tendenzen angefügt, wo immer dies aus der geschilderten Sachlage heraus möglich war und notwendig erschien. Wurden ungünstige Zustände festgestellt oder zeichnen sich negative Entwicklungen ab, so ist darauf hingewiesen. Um nicht nur in Kritik zu verharren, bemühten sich die Autoren darüber hinausgehend, Perspektiven zur Beseitigung misslicher Zustände aufzuzeigen. Insofern geht das Handbuch Rhein über den Charakter einer reinen Informationsquelle hinaus; es versucht, Argumentations- und Entscheidungshilfen bei der künftigen Behandlung des Rheins und seines Umfeldes zu geben.

Die Texte der vier genannten Abschnitte werden thematisch ergänzt und erweitert durch einen lexikalischen 5. Abschnitt von ca. 120 Seiten mit dem Titel „Kleine Enzyklopädie des Rheins“. In ihm erhält der Leser – alphabetisch gegliedert von Aare bis Zugvögel – unter 163 Stichworten in kurzen Texten Auskunft zu Wissenswerten über den Rhein, z.B. zu den Nebenflüssen des Rheins, zu Rheinbrücken, zu Adventswasser und Fähren, zum Deutschen Eck und der Flößerei, zu Hochrhein und Kölner Bucht, zum Ludwigshafener Filmfestival und dem Mainzer Museum für antike Schifffahrt, zur Rheinkilometrierung oder den Sprachen am Rhein.

*(aus: Mitteilung Primus Verlag vom 14. November 2011)*

# Termine

## Hochwasser – eine Daueraufgabe

42. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen (IWASA)  
12.–13. Januar 2012 in Aachen

Information: [www.iww.rwth-aachen.de](http://www.iww.rwth-aachen.de)

## Einfluss von Nassbaggerungen auf die Oberflächen- und Grundwasserqualität

Präsentation der Studie  
19. Januar 2012 in St. Pölten, Österreich

Information: [www.oewav.at](http://www.oewav.at)

## Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel: sektorale und regionale Bewertung

Workshop  
19. Januar 2012 in Berlin

Information: [www.anpassung.net](http://www.anpassung.net)

## Die Hochwasserrisikomanagementrichtlinie im Fokus von GIS und GDI

25.–26. Januar 2012 in Kassel

Information: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

## Hydro-ökologische Modellierungen und ihre Anwendungen

1. Ökologisches Kolloquium  
14.–15. Februar 2012 in Koblenz

Information: [www.bafg.de](http://www.bafg.de)

## Traditional Knowledge for Water Resources Management

International Conference  
21.–23. Februar 2012 in Yazd, Iran

Information: <http://conference.icqhs.org>

## Tag der Hydrologie 2012

22.–23. März 2012 in Freiburg

Information: <http://tdh2012.uni-freiburg.de>

## IWA Water Security Conference 2012

25.–27. März 2012 in Sydney, Australia

Information: [www.watersecurity2012.com/](http://www.watersecurity2012.com/)

## Dynamic Deltas

International Conference  
17.–20. April 2012 in Vlissingen, the Netherlands

Information: <http://dynamicdeltas.org>

## Urban Water 2012

International Conference  
25.–27. April 2012 in New Forest, UK

Information: [www.wessex.ac.uk/12-conferences/](http://www.wessex.ac.uk/12-conferences/)

## Hydroinformatics

10th International Conference  
14.–18. Juli 2012 in Hamburg

Information: <http://hic2012.org/>

## 4. GIS-Symposium zur Küstenzone und 9. Workshop zur Nutzung der Fernerkundung

24.–26. Oktober 2012 in Hamburg

Information: [www.hcu-hamburg.de/research](http://www.hcu-hamburg.de/research)

# Erläuterung zur Titelseite

## Fahrwassertonne als autarke Messstation mit Datenfernübertragung

Moderne Fahrwassertonnen für Binnenwasserstraßen können als Träger von Umweltsensoren mit Datenfernübertragung genutzt werden. Dabei wird ihre Funktion als vollwertiges Schifffahrtszeichen zur Markierung des Fahrwassers nicht beeinträchtigt. Die mit dem aufgesetzten Solarmodul gewonnene Energie erlaubt einen ganzjährigen autarken Betrieb. Im Vergleich zu einer Landstation sind die Kosten gering und die Messposition am Rand des Fahrwassers ist besser als die am Ufer. Das Bild zeigt als Nutzungsbeispiel eine Tonne mit Strömungssensor, der das Geschwindigkeitsprofil bis zur Gewässersohle erfasst. Dazu tastet er den Wasserkörper mit zwei schrägen Schallstrahlen akustisch ab. Der senkrechte Schallstrahl erfasst wie ein Echolot die Wassertiefe.

*Matthias Adler, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz*



**Fahrwassertonne zur kontinuierlichen Messung von Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit als autarke Messstation mit Datenfernübertragung**

Foto: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz